

LUNDS UNIVERSITET - INSTITUTIONEN FÖR
BIOMEDICINSK TEKNIK

KANDIDATARBETE I ELEKTRISK MÄTTEKNIK

I SAMARBETE MED ONE NORDIC AB

En analys av andra generationens smarta elmätare

Författare:
Seif SHARIF

Handledare:
Johan NILSSON

3 september 2020



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Abstract

Sweden is at the forefront of becoming the first country with a net zero emission by 2045. Achieving this ambitious goal requires a multi faceted approach, incorporating a wide variety of both technological and societal advances. Within the realm of accomplishing a more environmentally friendly energy usage, smart metering is key. Sweden is rolling out a second generation of smart meters, targeting an enhanced delivery of information to the end customer.

Innehåll

Abstract	i
1 Inledning	1
2 Bakgrund	1
2.1 Allmänt	1
2.1.1 Motivering till funktionskrav	2
2.2 Målformulering	3
2.3 Problemformulering	3
2.4 Motivering av kandidatarbetet	3
3 Metod	3
4 Teori	5
4.1 Funktionalitetskrav och regelverk	5
4.1.1 Utökad mätning	5
4.1.2 Registrering av aktiv energi varje timme eller femtonde minut samt elavbrott	7
4.1.3 Användargränssnitt	7
4.1.4 Fjärravläsning av mätdata och elavbrott	9
4.1.5 Fjärrstyrda uppdateringar av mjukvara och inställningar .	9
4.1.6 Spänningssättning och fränkoppling på distans	10
4.1.7 Personuppgifter och integritet	10
4.2 Elmätning	11
4.2.1 Spänningskrets	11
4.2.2 Strömkrets	12

4.3	Kommunikation	15
4.3.1	Allmänt	15
4.3.2	Informationsöverföring	16
5	Resultat	19
5.1	Varför byts fem miljoner elmätare ut innan år 2025?	19
5.2	Vad används den utökade data om människors elförbrukning till?	19
6	Diskussion	20
A	Bilaga	21
B	Bilaga	22

1 Inledning

Enligt regeringskansliets *Förordning om mätning, beräkning och rapportering av överförd el (SFS 1999:716, ändring 2018:426)* ställs det krav på de nya elmätarna. För att möta dessa har industrin svarat med miljardinvesteringar i ny teknologi.

Bortsett från tidigare krav så ska de nya elmätarna kunna behandla både elkonsumtion och elproduktion. Detta för att bland annat behandla den växande småskaliga elproduktion genom exempelvis solceller i hem. De senaste 25 åren har Sveriges totala elkonsumtion fluktuerat runt samma värden, se bilaga A. Vi konsumerade ungefär lika mycket år 1994 (143 GWh) som år 2012 (144 GWh) [2]. I framtiden förväntas detta att förändras. Det beror delvis på att det idag är vanligare än någonsin med elbilar med en nästintill fördubbling i antal mellan 2018 och 2019, se bilaga B men också på grund av en generell ökning av elektroniska apparater i hem.

Enligt förordningen ska totala omsättningen av energi mätas timvis men elmätarna har krav på att kunna mäta omsättningen var 15:e minut. I jämförelse så var kravet på fjärravläsning från och med år 2009 endast en gång i månaden. Detta är alltså en avsevärt ökad mätningsfrekvens. Det kommer med denna förändring vara möjligt att veta precis vilken timme på dygnet som det går åt mest el. Denna typ av information är avgörande för möjligheten att ta klimatsmarta och kostnadseffektiva beslut på individnivå.

2 Bakgrund

2.1 Allmänt

I Sverige utvecklar Energimarknadsinspektionen (Ei) regulationer för funktionskrav som måste uppfyllas av nya elmätare. Att tillsätta en rad olika funktionalitetskrav på elmätare är väsentligt för att konsumenter ska få använda olika tjänster som energileverantörer erbjuder. År 2015 presenterade Ei nya funktionalitetskrav för smarta elmätare [8]. I rapporten lades fokus på att förse mer information till kunden för att intressera denne att få insyn i sin elkonsumtion samt till leverantörerna för att öka effektiviteten. Vidare så poängterar Ei vikten av att skydda konsumenternas integritet och säkerhet. Detta beror på att den ökade mätningsfrekvensen leder till information om kundens förbrukningsmönster. Det diskuteras vidare i avsnitt 4.1.7 angående Personuppgifter och integritet.

Ei lyfter fram vikten av att göra utvecklingen användarvänlig. Ett gott exempel på hur bristfällig användarvänlighet och information kan påverka människors

beslutstagande är när nya regler kring timbaserad elmätning kom ut år 2012. Reglerna innebar att kunder inte behövde betala för att byta till timmätning, om de skulle vilja ha timmätning implementerat i sina hushåll. Detta incitament kom för att uppmuntra timbaserad elmätning på lågspänningsnätet. Trots detta var det endast 2% av alla kunder som gjorde bytet [5]. Givet bristen på information om timpriser var utfallet inte förvånande. Det låga antalet antas vara på grund av informationsbrist kring timpriser samt ett bristfälligt användargränssnitt som gjorde elkonsumenterna svår att följa.

I förordningen angående elmätning av Ei från 2015 [8] så ska följande områden täckas: 1) Utökad mätning, 2) Registrering av aktiv energi varje timme eller femtonde minut samt elavbrott, 3) Användargränssnitt, 4) Fjärravläsning av mätdata och elavbrott, 5) Fjärrstyrda uppdateringar av mjukvara och inställningar, 6) Spänningssättning och fränkoppling på distans. Alla elmätare ska uppfylla dessa krav innan 2025.

Funktionalitetskraven fyller alla olika syften som diskuteras vidare i avsnitt 4.1. Sammanfattningsvis är utökad mätning till för att stödja nätverksoperationer och underlätta integrering av mikroproduktion i nätverket (exempelvis solceller). Att registrera aktiv energi på tim- eller 15-minutersbasis förbättrar kundens förutsättningar att vara aktiv på marknaden. Det underlättar även leverantörers plikt att kompensera kunder för elavbrott. Ett enkelt och tydligt användargränssnitt möjliggör mer utvecklade energitjänster i marknaden. Det uppmuntrar även till en effektiviserad energianvändning från efterfrågarens sida. Att kunna fjärravläsa mätdata och avbrott främjar en effektiv och automatiserad datainsamling. Slutligen så är fjärrstyrda uppdateringar av mjukvara och inställningar viktigt för att nya funktionaliteter ska kunna introduceras på ett så kostnadseffektivt sätt som möjligt samtidigt som dyrare fältbesöks undviks.

2.1.1 Motivering till funktionskrav

År 2005 slog en allvarlig storm (Gudrun) till i Sverige och orsakade elavbrott för ca 450 000 kunder; 100 000 av dessa hade elavbrott som varade i längre än fyra dagar. Denna händelse ökade fokus på kontinuerlig eltillförsel från leverantörerna. Året därpå trädde två lagstiftningar i kraft för att adressera detta. Den första innefattade årlig risk- och exponeringsanalys och den andra att kunna kompensera kunder som haft elavbrott i längre än 12 timmar. Vidare så är fler än 11 elavbrott under ett år per kund heller inte tillåtet. Enkel insamling av avbrottstatistik är därför viktigt.

Innan år 2003 skedde i princip all elmätning på årsbasis. Kunderna fakturerades baserat på föregående årets elkonsumention. År 2003 beslutades det av parlamentet att år 2009 ska alla elkonsumenter ha månadsbaserad fakturering baserat på faktisk konsumtion. Detta initierade första generationens smarta elmätare i Sverige. Smarta elmätare definieras främst av sitt kommunikationssystem, alltså

dess förmåga att fjärrmässigt samla in data. År 2009 hade nästintill alla svenska konsumenter smarta elmätare som kunde fjärravläsas på månadsbasis och förse avbrottsregistrering. Fjärravläsning och avbrottsregistrering är alltså inte nytt för andra generationens smarta elmätare, endast utvecklat och förbättrat.

2.2 Målformulering

I detta arbete diskuteras andra generationens smarta elmätare. Efter ett regeringsbeslut om att elmätare i Sverige ska bytas mot andra generationens smarta elmätare kommer 5 miljoner elmätare att bytas ut innan 2025. De nya elmätarna ska ha användarvänligare funktioner och möjliggöra småskalig elproduktion. Syftet med arbetet är att förstå vikten av de nya elmätarna och hur de fungerar. Det bör även förtydliga för någon med mindre teknisk bakgrund hur denna teknologi fungerar för att lättare dra nytta av den.

Målet med denna rapport är att lyfta fram syftet bakom utrollningen av nya elmätare i Sverige. Ei har tidigare uttryckt att det funnits informationsbrist kring nyinförd reglering. De nya funktionskraven lägger fokus på att det ska möjliggöras för kunden att ta klimatsmartare val. Detta blir endast verklighet om kunderna är medvetna om den nytta som kan dras av teknologin. Detta arbete strävar efter att vara ett steg i processen att tydliggöra informationen kring de nya elmätarna som annars kan anses vara svårtillgänglig.

2.3 Problemformulering

- Varför ska 5 miljoner elmätare bytas ut och vilka funktioner har dessa?
- Vad kan man göra med stora mängder data, i synnerhet människors elförbrukning?

2.4 Motivering av kandidatarbetet

Kandidatarbete inspirerades av att ha arbetat med och varit delaktig i samarbetet mellan bland annat Ellevio och ONE Nordic AB.

3 Metod

För att bygga upp en stark grund för ämnet i fråga har skälen till den nya utrollningen av smarta elmätare analyserats. Energimarknadsinspektionen är den

tillsynsmyndighet som huvudsakligen ansvarar för att reglera energimarknaden. Denna myndighet står för de funktionskrav som elmätare måste uppfylla. Det är därför av vikt för arbetet att analysera de anledningar och motiveringar bakom utrullningen.

Ei:s rapport om *Funktions krav på framtidens elmätare* [8] står som grund för de funktionskrav på andra generationens smarta elmätare. Därav har rapporten noggrant granskats. Funktionskraven har sedan diskuterats vidare med Roland Lundberg, specialist i elektrisk mätteknik på ONE Nordic, för bland annat samråd ur ett implementeringsperspektiv.

Information kring vad elmätarna mäter görs så offentligt och lättillgängligt som möjligt men hur elmätare mäter har idag, enligt Roland Lundberg, blivit avsevärt svårare för en allmänperson att ta reda på. Detta på grund av den ökade mängden sekretessbelagd information om elmätarnas funktioner. Det beror främst på att försöka reducera risken för bedrägeri. Detta visade sig vara en begränsning under arbetets gång. Problemet angreps genom att diskutera de huvudkomponenter som används i elmätare generellt och därigenom undersöka dessa i relevant litteratur.

Information om huvudkomponenterna användes bland annat från tidigare kunskap under civilingenjörsutbildningen. Kunskaper från bland annat Analog Elektronik (ESSF01), Elektromagnetisk fältteori (EITF80) och Elektronik (EITA35) användes för att beskriva hur elmätaren fungerar.

Eftersom informationen kring ämnet i fråga inte var avgränsat nog så skickades denna in till Roland Lundberg för granskning. Informationen granskades av Lundberg och rapporten korrigerades därefter.

Avsnitt 4.3.2 som berör elmätarnas kommunikation baserades delvis på medverkandet i elmätarnas testfas på ONE Nordic. Där testades främst elmätarnas kommunikation. Kunskaper från kursen Kommunikationssystem och Nätverk (ETSF15) och testfasen var grunden för avsnitt 4.3.2. Testerna gick ut på att skicka paket mellan ett simulerat Head End System och en slumpmässigt vald elmätare. Kommunikationen granskas genom att låta den köras i programkod skriven av Sagemcom. Elmätarens informationsmetodik noterades. Programkodaren från Sagemcom intervjuades efter testprocessen för samråd och återkoppling kring det redogjorda materialet. Rapporten korrigerades baserat på återkopplingen.

4 Teori

4.1 Funktionalitetskrav och regelverk

4.1.1 Utökad mätning

Nästa generationens elmätare ska kunna mäta spänning, ström, aktiv och reaktiv effekt för både uttag och inmatning av el för varje enskild fas. Denna implementation i de nya mätarna tillåter nätföretag att använda sig av mer omfattande information som görs tillgänglig. Det öppnar även upp för mer lättillgänglig information ända ut på kundbasis genom ett användargränssnitt. Vidare kan man som kund också lättare inkorporera småskalig elproduktion då de nya elmätarna har funktionskapaciteten att mäta både producerad och konsumerad el.

Spänning

Att mäta spänningen i elmätare har blivit mer och mer betydande. Detta beror delvis på den ökade vikten av att mäta spänningen för varje fas. Att mäta spänningen underlättar nätföretagets granskning av elnätets spänningskvalitet. Med spänningskvaliteten avses variationen av spänningsnivåer och mängden störningar i en särskild mätpunkt uteslutet elavbrott. Idag är det begränsat med ständig övervakning över spänningen men eftersom Ei ställt krav på detta i sina leveranskvalitetsföreskrifter [6] så förväntas det att förändras.

Spänningsmätning kan även vara till nytta för konsumenter. Om kunden upplever leveranskvaliteten vara sämre än väntat så har kunden underlag för detta genom användargränssnittet. En låg leveranskvalitet av spänning kan orsaka skador av elektroniska apparater i kundens anläggning. Det kan därför underlätta för kunden att redogöra för varför elektroniska apparater i anläggningen tagit skada när det finns registrerad datainsamling på spänningen.

Ström

I elmätarna mäts strömmen på grund av att man vill mäta energiflödet. Även här finns särskild kundnytta. Likt många länder så debiterar Sverige en nätavgift beroende på storleken på säkringen. Om kunden har tillgång till strömkonsumtionen i sin anläggning så kan den potentiellt spara pengar på att ha en lägre säkringsstorlek. Med detta som grund har Ei beslutat att även strömmätning bör vara möjligt av avläsa i användargränssnittet.

Aktiv och reaktiv effekt

Att mäta aktiv och reaktiv effekt för varje enskild fas har ett antal olika fördelar. Den aktiva effekten är det som anläggningen debiteras för och behöver självklart mätas. Genom att ge kunden information om den aktiva effekten för varje fas kan kunden själv styra hur stor effekt som ska nå ut till olika delar av anläggningen. Detta är fördelaktigt då kunden därefter kan anpassa sin konsumtion efter behov

och potentiellt undvika att en viss effekt överskrids. Detta, likt fördelen med strömmätning, sparar kunden pengar genom att undvika högre kostnader för en för hög huvudsäkring.

Vikten av att mäta reaktiv effekt idag har varit en omdiskuterad fråga. Detta beror delvis på att nätföretag har diskuterat vikten av att veta det överhuvudtaget men också för att det ännu inte finns något standardiserat sätt att mäta den reaktiva effekten. Utöver detta har företag som Göteborgs Energi AB uttryckt oro för att kunna förklara vad reaktiv effekt är för kunderna. Enligt Asea Brown Boveri Ltd (ABB), är den reaktiva effekten “ungefär som skummet i ett ölglas - det är visserligen också öl liksom den aktiva effektens rinnande öl men det stjälar onödigt utrymme”. Enligt Ei själva kan det också ses som en pedagogisk utmaning att förklara vad den reaktiva effekten är för något till kunderna.

Trots svårigheterna att klargöra reaktiva effekten för den allmänna kundbasen så har Ei fastslagit att den ska mätas. Detta är på grund av den ökade mängd elektroniska apparater som ger upphov till en uppdriven reaktiv effekt. Reaktiv effekt är ett mått på hur “ur fas” sinusvågorna är för växelspanningen och växelströmmen. LED-lampor, spisar som är induktionsdrivna och värmepumpar är exempel på apparater som bidrar till en ökad reaktiv effekt. Den reaktiva effekten genererar en ström men ger inte en användbar (aktiv) effekt. Eftersom att det genereras en ström så måste elnätet dimensioneras därefter. Det ligger i nätföretagets intresse att veta hur stor den reaktiva effekten är för att veta hur eller om elnätet ska dimensioneras. Det gör även nytta att veta för att den reaktiva effekten kan ha en inverkan på nätets spänningsnivå och dess förluster. Utöver det intresse företag har av att veta den reaktiva effekten så kan det också gynna kunden att veta denna. Eftersom att den reaktiva effekten genererar ström kan denna göra skillnad för säkringsstorleken och därmed kostnaden. Kan man minska den reaktiva effekten kan man alltså minska storleken på huvudsäkringen.

Aktiv energi

Idag mäts redan den aktiva energin då det är vad all fakturering baseras på. Det är även allt vanligare med småskalig elproduktion i elnäten och därför är det viktigt för elmätarna att ta hänsyn till *både* in- och utmatad energi. Det är inget nytt att den aktiva energin mäts men att göra informationen mer lättillgänglig genom ett tydligt användargränssnittet är prioriteringen framöver.

I produktionsbaserade anläggningar som är uppkopplade till nätet är växelriktare implementerade och registrerar anläggningens producerade växelström. Därtill finns ofta en elmätare till för att säkerställa att växelriktaren fungerar som den ska.

När elmätaren mäter energiflödet åt båda riktningar så kan det ske på ett antal olika sätt. Det beror främst på att energin flödar i de tre olika faserna. För att ta hänsyn till anläggningens produktion så har det implementerats växelrikta-

re i elmätarna som registrerar anläggningens AC-produktion. Ett alternativ för elmätaren är att i realtid registrera den adderade energimängden av alla tre faser. Ett annat kan vara att mäta energin enskilt för varje fas för att sedan addera ihop dessa över en godtycklig tidsperiod. I de instanser där både uttag och inmatning är av samma mängd i anläggningen så kan kan mätningensmetoden spela roll. De två olika mätningensmetoderna kan enligt en rapport från Elforsk [7] ge olika värden på två likadana anläggningar och kunder kan alltså debiteras olika för samma förbrukning. Utöver detta ligger mätningarna till grund för skattesänkningar och energiskatter. Problematiken här ligger i avsaknaden av en standardiserad konfigureringsmetod för mätning. Att reglera en specifik mätningensmetod faller inom ramarna av vad Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (Swedac) ansvarar för. Ei uppmanar Swedac att reglera en mätningensmetod för in- och utmatning av energi och Swedac samråder nu med relevanta parter för att utreda behovet av en standardiserad konfiguration.

4.1.2 Registrering av aktiv energi varje timme eller femtonde minut samt elavbrott

Ei har i sin rapport för funktionskraven från 2015 föreslagit att mätarna ska ha timmätning men möjligheten att kunna slå om till registrering på 15-minutersbasis i framtiden [8]. Detta kravet står Ei fast vid men har arbetat vidare på att förtydliga de förväntningar som finns på framtidens elmätare.

Denna ökade mätningensfrekvens öppnar upp för att man på kundbasis ska kunna ta del av uppmätta värden av den aktiva energi som överförts var 60:e minut och i framtiden var 15:e minut. Detta ska främja kunders medverkande i elmarknaden. Anledningen att man redan nu förbereder för 15 minutersmätning är för att kringgå risken att behöva ersätta mätarna långt innan slutet av deras livscykel. Det är för att vara förberedd inför ett krav från EU angående 15 minutersmätning i framtiden.

I EU-kommissionens elmarknadsdirektiv från 2015[9] diskuteras begreppet marknadstidsenhet som är den tidsenhet som elmarknadspriset kommer att förhålla sig till. I nuläget är denna tidsenhet var 60:e minut men enligt EU-kommissionen kommer framtida avräkningar ske på 15-minutersbasis. För att göra denna avräkning genomförbar måste elmätarna ha funktionskapaciteten att hantera denna mätfrekvens.

4.1.3 Användargränssnitt

Enligt rekommendationer från Ei [8] bör mätarna ha ett användargränssnitt som är kompatibelt med en användarvänlig standard. I användargränssnittet bör, som utförligare diskuteras i avsnitt 4.1.1, ström, spänning, uttag och inmatning

av aktiv och reaktiv effekt i varje enskild fas samt uttag och inmatning av aktiv energi göras tillgängliga i nästan realtid enligt EU-kommissionen [9]. Med nästan realtid menar EU-kommissionen den tid det tar för att samla in uppgifter och sedan skicka vidare dessa till exempelvis användargränssnittet. Dessa uppgifter ska endast göras tillgängliga om elkonsumenten begär detta av sin nätoperatör.

Funktionskravets syfte är att elkonsumenten ska få insikt i sin egen elförbrukning genom de uppgifter från stycket ovan som görs tillgängliga. Det är genom detta en kund kan ta aktiva beslut i sin egna elförbrukning utifrån de olika värdena. Det underlättar även möjligheterna att jämföra produkter och se deras inverkan i nästan realtid vilket potentiellt kan uppmuntra till en minskad energiförbrukning. Den snabba responsen från användargränssnittet banar väg för ändring av handlingssätt som i sin tur kan resultera i en effektiviserad energiförbrukning. Enligt Ei:s rapport angående funktionskraven från 2015 [8] så hölls detta funktionskrav som det viktigaste av de alla för att uppnå en uppdriven energitjänstemarknad.

Begreppet nästan realtid ledde till att ett antal nätföretag begärde en noggrannare beskrivning på vad som innefattar nästan realtid. Som förtydligande beslöt Ei att nästan realtid innebär högst tio sekunders fördröjning. Det innebär alltså att kunden kan hämta ut värden var tionde sekund. Tio sekunders fördröjning är också det krav som finns i exempelvis Norge och Nederländerna. Kravet på 10 sekunders fördröjning är ett minimikrav och kunder kan potentiellt ta ut värden oftare än så. Tio sekunder bör enligt Ei vara inom ramarna av vad EU-kommissionen definierar som nästan realtid.

För att underlätta för kunder att använda sig av användargränssnittet bör det inte finnas en bred variation av lösningar. Idag finns ingen standardiserad lösning för användargränssnittet men Ei uppmanar nätoperatörer att hitta liknande lösningar. För stor variation kan exempelvis leda till att en kund som köpt särskild utrustning med en typ av lösning för användargränssnittet flyttar och upptäcker att den köpta utrustningen inte är kompatibel med det nya användargränssnittet. Information kring användargränssnittet som används i kundens anläggning kan bli svårare att hitta om det finns för många lösningar. Detta försvårar för kunden att dra nytta av de tillgängliga funktionerna.

Eftersom ett användargränssnitt som detta handlar om att redogöra för individers personliga uppgifter om deras elförbrukning så är det viktigt att uppgifterna behandlas på säkert sätt. I exempelvis flerbostadshus är det fler än bara slutkunden som har tillgång till elmätaren. Där är det viktigt att det inte räcker att bara koppla upp sig till användargränssnittet och få tillgång till alla uppgifter direkt. Det är också viktigt att det inte är så pass svårt för kunder att ta sig in att det hämmar kunder från att använda det. Säkerhetsnivån måste därför bero på vikten av att skydda de relevanta uppgifterna. Som lösning föreslår Ei i sin rapport om funktionskrav från 2015 [8] att användargränssnittet är inaktiverat och aktiveras endast efter att en kund begärt tillgång till det.

4.1.4 Fjärravläsning av mätdata och elavbrott

Syftet med detta funktionskrav är att möjliggöra en smidig datainsamling för nätföretagen. Det underlättar även för nätföretagen att kunna fjärravläsa mätdata. Det är till nytta att ha koll på ett aktuellt elavbrott för elnätets drift men även möjligheten att rapportera avbrottsstatistik till Ei. Det underlättar för både kunder och nätföretag när ersättningar för elavbrott ska betalas. När de månadsbaserade elmätarna, det vill säga när *första* generationens smarta elmätare kom ut 2009 var de flesta redan utrustade med fjärravläsningsfunktioner. Detta trots att det inte fanns något regelverk eller krav på att de skulle ha det. För den *andra* generationens smarta elmätare har Ei fastslagit att samtliga mätare ska ha fjärravläsning.

Alla värden som ska mätas ska också gå att fjärravläsas. Dessa värden diskuteras noggrannare i avsnitt 4.1.1 funktionskravet om utökad mätdata. Utöver det så måste all avbrottsstatistik som är sparad kunna avläsas och all data måste sparas i minst fyra månader. Att kunna avläsa avbrottsstatistik är till för att både stödja kundens rätt till ersättning men också hjälpa elnätsföretagens skyldighet att betala kunder för elavbrott som varar längre än tolv timmar, enligt ellagen. Förut har nätföretag bestämt att börja räkna på tidslängden för ett avbrott från och med det att kunden ringer in till nätföretaget och manuellt meddelar ett avbrott. Kunder som inte ringer in precis när elavbrottet sker kan gå miste om ersättning de är berättigade till. Denna angreppsmetodik berövar kunder som inte är medvetna om sina rättigheter för ersättning. Från Ei:s rapport om funktionskraven från 2015 ska alla avbrott längre än tre minuter i en fas eller flera registreras [8].

4.1.5 Fjärrstyrda uppdateringar av mjukvara och inställningar

Att nätföretagen ska ha möjligheten att på avstånd styra olika uppdateringar är en nödvändighet. Det banar väg för en så enkel omställning som möjligt vid behov av att justera inställningar efter eventuella regelverksändringar. Det underlättar även för nätföretagen att undvika kostnadsdrivande fältarbeten.

Fjärrstyrda uppdateringar som kan komma att behövas är exempelvis ökad säkerhet. Det öppna användargränssnittet kan behöva inaktiveras om kunden flyttar. Då är det viktigt för kundens personliga integritet att detta sker hindersfritt och smidigt. Även att kunna ändra avläsningsfrekvensen från att registrera mätvärden en gång per timme till att registrera en gång var 15:e minut är kostnadsbesparande om det kan ske på distans. Vidare så är förekomster av mikroproduktionsanläggningar allt vanligare. För att främja incitamentet att ha småskalig elproduktion i hushåll behöver elmätarna smidigt kunna anpassas för att ta hänsyn till detta.

4.1.6 Spänningssättning och fränkoppling på distans

Att kunna fjärrstyra en fränkoppling för en anläggning vid eventuell flytt är mer kostnadseffektivt än det fältarbete som hade krävts annars. Det gör det också lättare för nätföretagen att bryta elen i anläggningar där det inte finns ett aktuellt elavtal. Att elen redan är fränkopplad när en kund flyttar in i en ny anläggning kan främja ett aktivt val av elavtal. Kunden måste alltså kontakta ett nätföretag själv och välja elavtal då det i anläggningen inte finns ett aktivt elavtal och därför ingen eltillförsel. Detta bidrar även till en reducerad energiförbrukning i anläggningar utan elavtal. Riskerna med att kunna fjärrstyra fränkopplingar är att obehöriga inkräktare får tillgång till systemet. Vad olika nätföretag har utfört för åtgärder för att reducera dessa risker är av rimliga skäl sekretessbelagt.

Funktionen ska även underlätta styrel ända ut på individuella anläggningsnivån. Styrel är, enligt definition från Krisinformation “styrning av el till prioriterade elanvändare” [10]. Detta orsakas exempelvis av elbrist. När detta sker krävs det av olika myndighetsstyrelser att dirigera elen till samhällsviktiga delar av landet. Prioriteringar hamnar då på att ge eltillförsel till, enligt Krisinformation, sjukhus, äldreboenden, räddnings- och larmtjänst, vattenförsörjning och telekommunikationer. Tidigare har sådana fränkopplingar skett på ledningsnivå, det vill säga att alla på en viss ledning blir fränkopplade. Det orsakar att både mer och mindre samhällsviktiga anläggningar kan fränkopplas. Kan man istället fränkoppla en viss uttagspunkt så kan en mer noggrann prioritering göras.

4.1.7 Personuppgifter och integritet

Personuppgifter innefattar enligt personuppgiftslagen samtliga uppgifter som antingen direkt eller indirekt kan anknytas till en enskild levande person. Att skydda kunders data är väsentligt för att värna om kundernas personliga integritet. Kunders elkonsumention anses vara personuppgifter då man med denna information har möjlighet att ta reda på om personen i fråga exempelvis är hemma eller inte, vad den gör just nu och vilka apparater denna har hemma genom att granska konsumtionsmönstret. Det finns alltså stort incitament att reglera och begränsa det informationsflöde som nätföretagen får tillgång till. Vidare så krävs en hög datasäkerhetsnivå för att undvika obehöriga användare. Hur elmätarna kommunicerar diskuteras vidare i avsnitt 4.3.2.

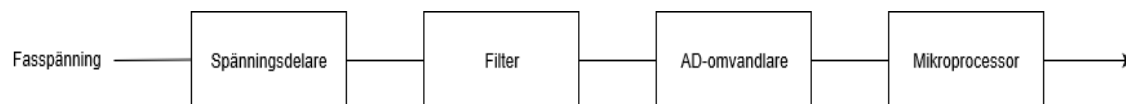
Enligt en studie av EU-kommissionen är elmarknaden bland de marknader med lägst tillit från kunderna i både Sverige och Europa [17]. EU-kommissionen har utfört en mångfasetterad undersökning men oavsett anledning för bristen på tillit från kundernas sida är det viktigt att detta inte fortsätter. Byggs inte ett starkt förtroende upp mellan konsumenter och marknaden försvåras nyttjandet av den utveckling som sker för att främja smartare elkonsumention.

4.2 Elmätning

Andra generationens smarta elmätare ska för varje fas kunna mäta spänningen, strömmen, aktiva och reaktiva effekten dubbelriktat. De ska även kunna mäta och registrera den totala konsumtionen samt produktionen av energi i elnätet. Detta säkerställer att leverantörerna har tillräckligt med information för att effektivare driva elnätet. Elmätarna ska vara utrustade med ett användargränssnitt som gör att kunden kan, på egen begäran, se sin elkonsumtion i nästan realtid. Detta krav leder till att kunder har tillgång till sin nästintill realtiddata och ökar kundens kännedom för sin elkonsumtion. Denna information kan potentiellt användas av kunden för att minska sin konsumtion. Det kan även göra det lättare att utvärdera olika elkontrakt och lättare byta leverantör.

Enfasiga och trefasiga elmätare fungerar principiellt likadant. En trefasig elmätare fungerar i princip som tre separata enfasiga elmätare. Det kommer därför att diskuteras hur en enfasig elmätare fungerar. Elmätare byggs upp av ett antal olika huvudkomponenter. Dessa är spänningsdelare, strömavkännare, filter, en AD-omvandlare för ström, en för spänning och en för vinkeln mellan ström och spänning (fasvinkeln), och en mikroprocessor. För att hantera dessa olika storheter finns en spänningskrets och en strömkrets.

4.2.1 Spänningskrets



Figur 1: Schematisk bild för elmätarens spänningskrets

I spänningskretsen, som syns i figur 1 matas fasspänningen in i en spänningsdelare. Spänningsdelarens syfte är att reducera spänningen. Den minskade spänningen kan nu matas in i AD-omvandlaren då fasspänningen ligger på 230 V och är alldeles för hög för komponenten. AD-omvandlarens funktion är att omvandla spänningen till ett digitalt värde som kan matas in i mikroprocessorn som i sin tur används för att utföra matematiska beräkningar.

Mikroprocessorn utför matematiska beräkningar, däribland olika samband för olika strömmar och spänningar. Med sinusformade kurvformer beräknas effekten enligt ett antal olika samband. Har vi ren likström och spänning så gäller förhållandet $P = U \cdot I$ där P är effekten, U spänningen och I strömmen. Är det däremot en växelström gäller istället sambandet $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$ som är den aktiva effekten. Analogt är den reaktiva effekten $P = U \cdot I \cdot \sin \phi$ där ϕ är fasvinkeln. Om vi och andra sidan har insignaler som inte är sinusformade

beräknas effekten med en mer generell form P enligt $p(t) = u(t) \cdot i(t)$ där momentana effekten $p(t)$ är produkten av ögonblicksvärdena av spänningen $u(t)$ och strömmen $i(t)$. Här är $u(t)$ definierat som

$$U_{RMS} = \sqrt{1/(kT) \cdot \int_0^{kT} u^2(t) dt}$$

och $i(t)$ som

$$I_{RMS} = \sqrt{1/(kT) \cdot \int_0^{kT} i^2(t) dt}$$

där U_{RMS} och I_{RMS} är spänningens respektive strömmens effektivvärden beräknade som den kvadratiske tidens medelvärde av ögonblicksström- och spänningsnivåerna [11], T periodtiden och k en godtycklig konstant. Medeleffekten är i sin tur medelvärdet av momentaneffekten enligt

$$P = 1/(kT) \cdot \int_0^{kT} p(t) dt$$

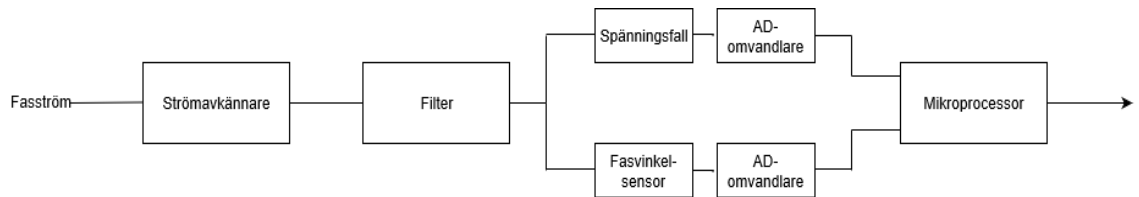
Den uppmätta energin under ett kort tidsögonblick är ΔW och beräknas enligt $\Delta W = P \cdot \Delta t$, och analogt är energin under en viss tid T summan av alla ögonblickseffekterna $W = \sum_0^T P \cdot \Delta t$ [12]. Samtliga beräkningar sker i elmätarens mikroprocessor.

Vad som kännetecknar olinjära laster är när en linjär spänning matas in på sinusform och strömmen *inte* beter sig sinusformat. Detta är vad som kallas distorsion (förvrängning). Innan signalen matas in i AD-omvandlaren går den genom ett filter. Filtrets funktion är att filtrera bort de störningar som kan ske, som innebär störningar med lågt energiinnehåll. Det kan nämligen ske distorsion i spänningskurvformen på grund av olika olinjära laster som orsakar högre frekvenser i elnäten. Olinjära laster orsakas av olika elektroniska apparater som TV-apparater, lågenergilampor, ljusdimmers och induktionsdrivna spisar som alla blir allt vanligare idag.

4.2.2 Strömkrets

Fasströmmen som matas in i strömkretsen går genom strömavkännaren. Strömavkännaren används för att känna av strömnivån och sedan lägger man till, genom ett antal olika metoder som diskuteras noggrannare nedan, ett motstånd för att reducera fasströmmen och få ett spänningsfall över motståndet. Spänningsfallet är det som sedan matas in i filtret. Parallellt matas fasvinkeldetektorns utsignal in i sin AD-omvandlare som jämförs med fasläget för spänningen och därefter matas respektive AD-omvandlares utsignal in i mikroprocessorn.

Det finns olika typer av strömavkännare. Enligt Roland Lundberg, mätspecialist på ONE Nordic, kommer troligen shuntmätare att dominera, innan dess



Figur 2: Schematisk bild för elmätarens strömkrets

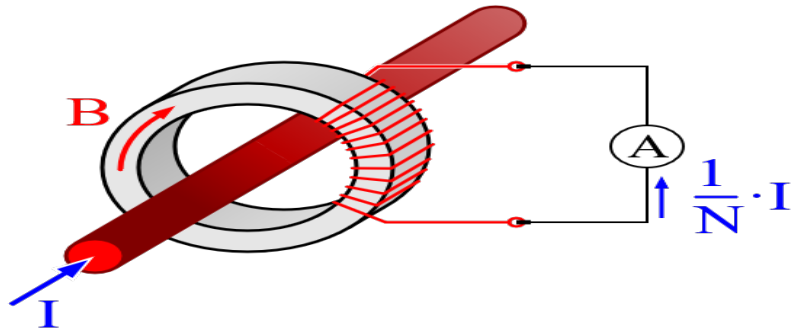
var det en så kallad Rogowskipole eller en liten strömtransformator som var dominerande vid utrullningen av smarta elmätare år 2006-2009, och innan dess användes oftast en Halleffektsensor. Dessa strömvännare har främst ändrats med tiden av två anledningar. Främst har det handlat om mätnoggrannhet och som ett försök att minska risken för bedrägeri. Shuntmätarnas förväntade dominans beror främst på nya modifikationer till strömmätningmetodik för att försvåra bedrägerier.

Shuntmätare

Shuntmätare, likt andra strömvännare, används för att minimera belastningen i strömkretsen. Principiellt är en shunt ett väldigt lågt motstånd men känd resistans som ger ett spänningsfall över motståndet som voltmätaren mäter upp. Nästan hela strömmen flödar genom shunten där det flödar en så pass liten ström genom spänningsmätaren att den strömmen är försumbar. Spänningsfallet mäts i voltmätaren eftersom spänningen över shunten är proportionell mot strömmen som flödar genom den [16]. En okänd ström kan mätas med hjälp av en shunt som exempelvis har en resistans $R = 50 \mu\Omega$. Om spänningsmätaren mäter upp $U = 50 mV$ så kan strömmen beräknas enligt $I = U/R = 100 A$. Spänningen blir nu också tillräckligt liten för att matas in i AD-omvandlaren och senare in i mikroprocessorn där strömmen beräknas.

Strömtransformator

En strömtransformator används för att reducera växelströmmen. Strömtransformatorn är en liten cirkulär ihålig järnkärna som man lindar med exempelvis koppartråd och för sedan en ledare där huvudströmmen går genom den ihåliga kärnan, se figur 3. Den ursprungliga växelströmmen skapar ett magnetfält i kärnan som i sin tur inducerar en spänning. Den reducerade strömmen är proportionerlig mot den ursprungliga enligt $I_{urs} = I_{red}/N$, där I_{urs} är den ursprungliga strömmen, I_{red} den reducerade strömmen och N antalet varv i lindningen. På så sätt kan man med hjälp av att mäta den reducerade strömmen skala upp och beräkna den ursprungliga strömmen i mikroprocessorn.



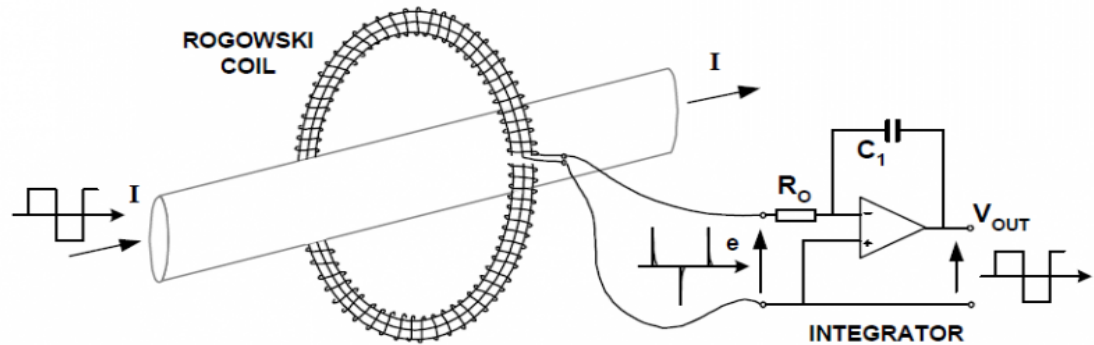
Figur 3: Strömtransformator. [14]

Rogowskispole

Rogowskispolen består av en helixformad luftlindad spole, se figur 4. I en rogowskispole behövs alltså ingen järnkärna som i en strömtransformator. Ledaren där huvudströmmen går förs rakt genom mitten av spolen och ger upphov till ett magnetfält i spolen. Inuti lindningen förs en metalledning cirkulärt från ena änden till den andra och matas sedan in i AD-omvandlaren där spänningen som inducerats av magnetfältet i spolen mäts. Eftersom den inducerade spänningen är proportionell mot derivatan av strömmen i den raka ledaren där huvudströmmen flödar så beräknas strömmen med hjälp av mikroprocessorn enligt

$$v(t) = -A \cdot N \cdot \mu_0 / l \cdot \frac{dI(t)}{dt}$$

där $A = \pi \cdot r^2$ är arean inuti spolen och r är radien, N är antalet varv, l är den cirkulära omkretsen för spolen, $\frac{dI(t)}{dt}$ är förändringen för huvudströmmen med avseende på tiden och $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{Vs}/(\text{Am})$ den magnetiska konstanten.



Figur 4: Rogowskispole. [13]

Halleffektsensor

Halleffektsensorn består huvudsakligen av ett tunt metallskikt där en ström leds. När det uppstår ett magnetfält i närheten av metallskiktet så deflekteras elektronerna och ett spänningsfall skapas tvärs över metallskiktet, vinkelrätt mot strömmen [15]. Spänningsfallet kallas för hallspänningen. Hallspänningen är det som matas in i AD-omvandlaren. Hallsensorn beräknar en inducerad spänning. Den inducerade hallspänningen är proportionerlig mot kryssprodukten av magnetfältet och strömmen och genom denna kan strömmen beräknas i mikroprocessorn enligt

$$V_H \propto \mathbf{I} \times \mathbf{B}$$

där V_H är hallspänningen, I är strömmen och B magnetfältet.

4.3 Kommunikation

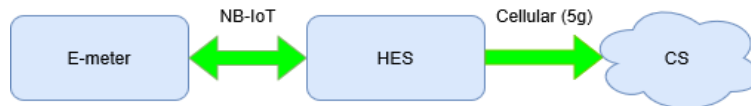
4.3.1 Allmänt

Investeringar i utökad inspektion på allt från lågspänningsnätet till individuell avbrottsupplysning leder till stora mängder information som tidigare inte funnits. Detta i sig medför en större risk för att känslig information kan spridas. Sättet elmätarna kommunicerar med elbolagen är alltså väsentligt för att värna om individers personliga uppgifter. Funktioner som dessa har uppenbara fördelar; snabbare felhantering och noggrannare mätdata är två sådana fördelar. Med denna information uppstår dock nya problem som måste tas an; nätsäkerhet och informationshantering.

4.3.2 Informationsöverföring

Elmätarna kommunicerar idag via Narrowband Internet of Things (NB-IoT) som är en form av trådlös kommunikation. Fördelarna med NB-IoT är att det är kostnadseffektivt och kan tränga igenom annars svåra byggnader. I flerbostadshus befinner sig elmätare väldigt ofta i källare och den trådlösa signalen behöver kunna ta sig igenom materialet.

Elmätarna har ett antal olika servrar, klienter och system. Elmätarna använder sig av *Peer to Peer* (P2P). I P2P ansluter olika, vanligtvis datorer men i detta fall elmätare, till ett gemensamt nätverk. I P2P är varje uppkopplad enhet både en klient samt en server. *Head End System* (HES) är ett säkerhetsklassat system utvecklat av Sagemcom som alla elmätare skickar krypterade meddelanden till. Meddelandena avkrypteras i HES och sedan rapporteras relevant data från elmätarna till *Central System* (CS) med hjälp av 5G utvecklat av Telia. CS kan ses som en central hubb som endast behöriga aktörer har tillgång till och använder sig av detta för att bland annat förbättra driften i elnätet.

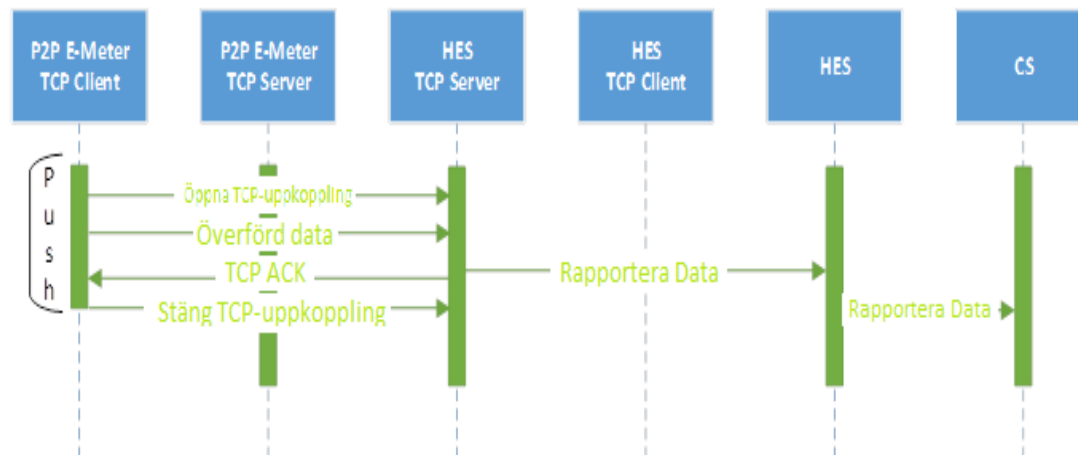


Figur 5: Förenklat blockschema för elmätaren, HES och CS

Elmätarna kan initiera kommunikation med (HES) med hjälp av en PUSH-mekanism. Denna PUSH-mekanism används vanligtvis för att rapportera larm, exempelvis angående eventuellt avbrott eller bedrägeriförsök. Informationsutbytet sker alltid med kommunikationsprotokollet *Transmission Control Protocol* (TCP) och IP protokoll.

All dataöverföring bygger på TCP/IP protokollet på grund av det säkrare bekräftelseystemet (ACK). Elmätarens klient skickar via elmätarens server en förfrågan om att öppna uppkopplingen samt den data som ska överföras till HES:s server. Elmätaren inväntar då ett ACK från HES:s server och bekräftar sedan att uppkopplingen stängs ner. Därefter rapporterar HES:s server genom HES:s klient till HES som i sin tur vidarebefordrar informationen till *central system* (CS). När elmätaren får sitt sista ACK om att den fullständiga data överförts till HES kommer den omedelbart släppa TCP-uppkopplingen och kommunikationen är avslutad.

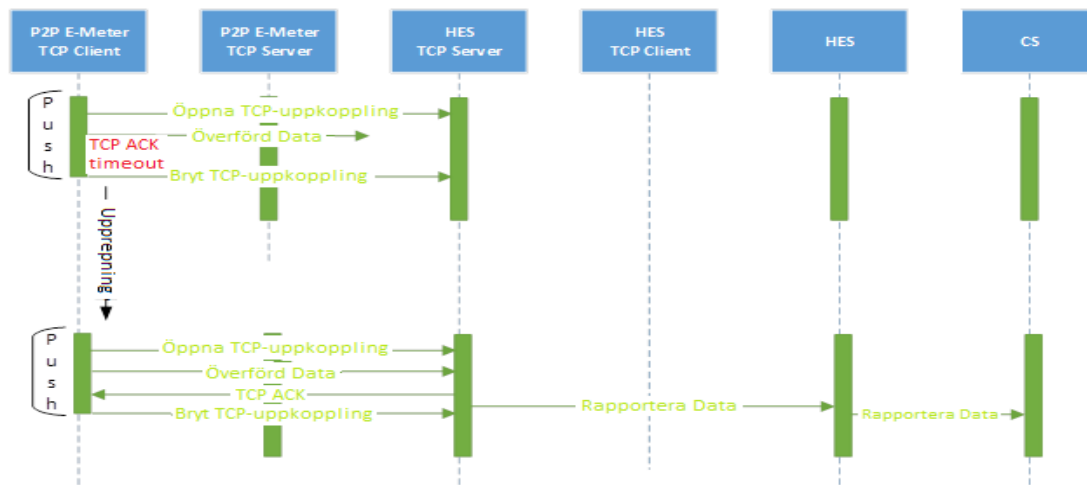
Skulle den överförda data mellan elmätarens klient och HES:s server inte komma fram kommer HES:s server inte skicka ett ACK. Detta kan ske på grund av att HES:s server inte svarar eller att uppkopplingen oväntat bryts. Mätaren gör ett visst antal försök att återuppkopplas med en särskild upprepningsfördröjning mellan varje försök.



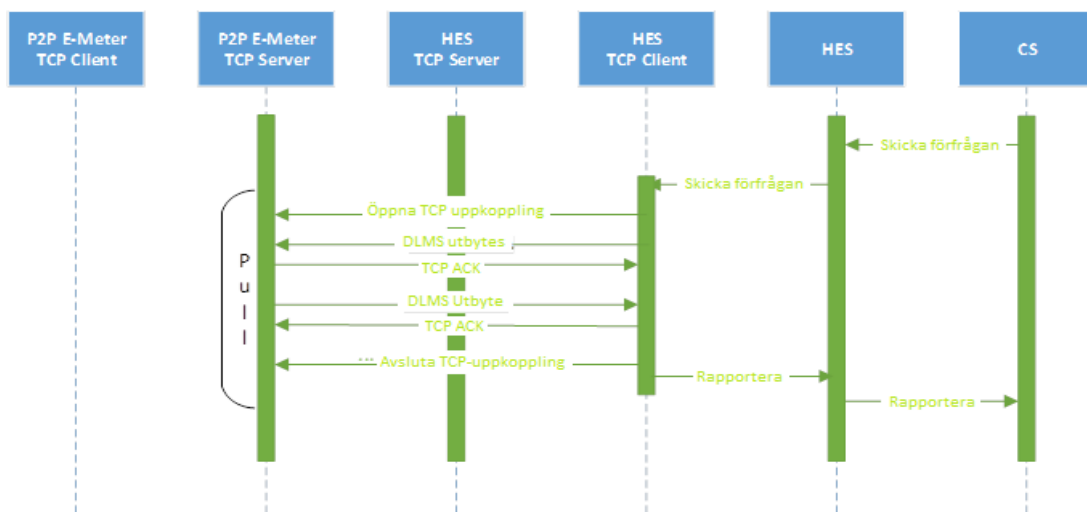
Figur 6: Lyckad TCP-kommunikation mellan elmätare och centrala systemet [4].

Om HES istället vill kommunicera med elmätare så används en PULL-mekanism. Pull-mekanismen används vanligtvis för avläsning på begäran och periodisk datainsamling. Kravet för att få utföra denna mekanism är att HES behöver veta elmätarens IP-adress som sker genom att först utföra PUSH-mekanismen. För varje gång elmätaren återkopplas till cellulära nätverket eller om IP-adressen ändras så skickar mätaren ut den nya adressen.

Olika enheter har olika språkspecifikationer, *Device Language Message Specification* (DLMS), något som krävs för att pull-mekanismen ska fungera. Om elmätaren inte mottagit en DLMS-förfrågan inom viss tid så skickar elmätaren ut ett larm med hjälp av PUSH-funktionen.



Figur 7: Misslyckad TCP-kommunikation mellan elmätare och centrala systemet [4].



Figur 8: PULL-mekanismen mellan centrala systemet och elmätaren [4]

5 Resultat

5.1 Varför byts fem miljoner elmätare ut innan år 2025?

Utrullningen av andra generationens smarta elmätare är motiverade av de funktionskrav som kom år 2015 av Ei, i samråd med EU-kommissionen. Förhoppningen från Ei är att de utvecklade funktionerna ska främja en effektiviserad energikonsumtion ända ut på slutkundnivå. Detta ska förhoppningsvis ske genom det öppna användargränssnittet som Ei lyfter fram som det viktigaste funktionskravet för de nya elmätarna.

Funktionskraven är enligt Ei sammanfattningsvis 1) Utökad mätning, 2) Registrering av aktiv energi varje timme eller femtonde minut samt elavbrott, 3) Användargränssnitt, 4) Fjärravläsning av mätdata och elavbrott, 5) Fjärrstyrda uppdateringar av mjukvara och inställningar, 6) Spänningssättning och fränkoppling på distans.

Utökad mätning innefattar mätning av spänning, ström, aktiv och reaktiv effekt och aktiv energi. Genom dessa mätningar får slutkunder tillgång till större mängd information än förut. Den ökade mätningens frekvensen från månadsbaserad mätning till tim- och 15-minutersbaserad mätning ska bana väg för kunder att delta i elmarknaden. Det är även till för att agera som förberedelse inför nya direktiv från EU-kommissionen för att undvika ännu ett nationellt mätarbyte. Användargränssnittets huvudsakliga funktion är att illustrativt visa, på kundens begäran, kundens elkonsumention i nästan realtid. Genom användargränssnittet kan kunder få insikt i sin elförbrukning och potentiellt minska den. Fjärravläsning av mätdata och elavbrott är till nytta för både kunder och nätföretag. Informationen som görs tillgänglig möjliggör ytterligare stöd i elnätet samt underlag för kunders rätt till kompensering vid elavbrott. Att kunna fjärrmässigt initiera uppdatering av mjukvara förhindrar det dyrare alternativet av att behöva skicka ut montörer för fältarbete. Slutligen är kravet om spänningssättning och fränkoppling på distans till nytta för en effektiviserad form av styrel respektive fränkoppling för en anläggning utan befintligt elavtal.

5.2 Vad används den utökade data om människors elförbrukning till?

Den ökade mätfrekvensen från månadsbaserad mätning till tim- och kvartsbaserad mätning bidrar till en stor mängd information som tidigare inte funnits. Informationen ska underlätta för kunder att både vara delaktiga i elmarknaden samt att ge kunderna insyn till sin elförbrukning. Det är även nyttigt för nätföretagen som kan använda sig av informationen för att effektivisera nätet.

6 Diskussion

Ei har tagit fram funktionskrav och till stor del fokuserat på att bidra till ett klimatsmart samhälle. Det bör dock konstateras att Ei:s försök år 2012 att uppmåna kunder på lågspänningsnätet att byta till timbaserad mätning genom att göra bytet gratis inte var framgångsrikt. Färre än 1/50 av alla kunder gjorde detta byte [5]. Ei nämner i rapporten om funktionskrav år 2015 [8] att detta främst berodde på en otillräcklig information om timpriser. Utöver det fanns inget enkelt användargränssnitt att följa. Båda dessa har adresserats av Ei i rapporten från 2015. Förhoppningen är att det ska bli tillräckligt användarvänligt att inte endast insatta kunder gagnas av utvecklingen.

I Sverige är elpriser redan relativt låga. Det finns en risk att kundens incitament att anpassa sin livsstil är för litet med tanke på vilken kostnadsskillnad det utgör.

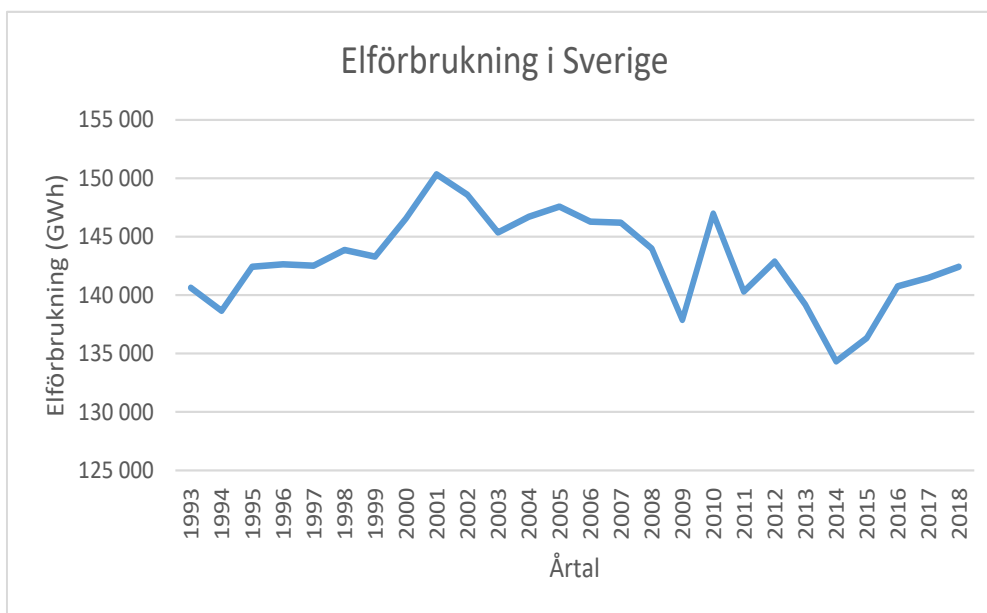
Roland Lundberg uttrycker en skepticism mot miljövänligheten i det nya projektet. Som grund för detta diskuterar han den påverkan det har på klimatet att byta ut elmätare innan de nått slutet på sin livscykel. Elmätarna går alltså idag igenom en ”slit- och slänghantering“ som Lundberg kallar det. Lundberg väljer att inte ta ställning i frågan om det på global nivå kommer att gynna klimatet eller inte.

I Sverige är elpriser relativt låga. Vad det kan orsaka är att det saknas incitament från kundens sida att anpassa sin elförbrukning. Om kunden märker att den sparar små summor för att ändra vardagliga livsstilsrutiner kan intresset börja avta. Det kan då vara av betydelse att påminna om hur små ändringar i folks vardag kan i större skala ha en märkvärdig positiv klimatpåverkan. Om man parafraiserar Johan Svensson, ansvarig för mätarprogrammet på Ellevio, när över fem miljoner hushåll bidrar i det lilla så kan vi göra skillnad i det stora.

Den ökade mängden information kring kundernas förbrukningsmönster har blivit en diskussionsfråga. Det handlar om de personliga uppgifter som görs tillgängliga för nätföretagen och hur dessa hanteras. Med hjälp av den informationen som görs tillgänglig kan nätföretagen se om en viss apparat används då särskilda apparater generellt förbrukar lika mycket energi. Som påpekat tidigare kan nätföretagen exempelvis se att det sker en energiförbrukning typisk för en kaffekokare runt halv 8 varje vardag. Slutsatsen att kunden dricker kaffe är därför inte svår. Sådana uppgifter hade kunnat säljas till företag som gärna vill individrikta sin reklam.

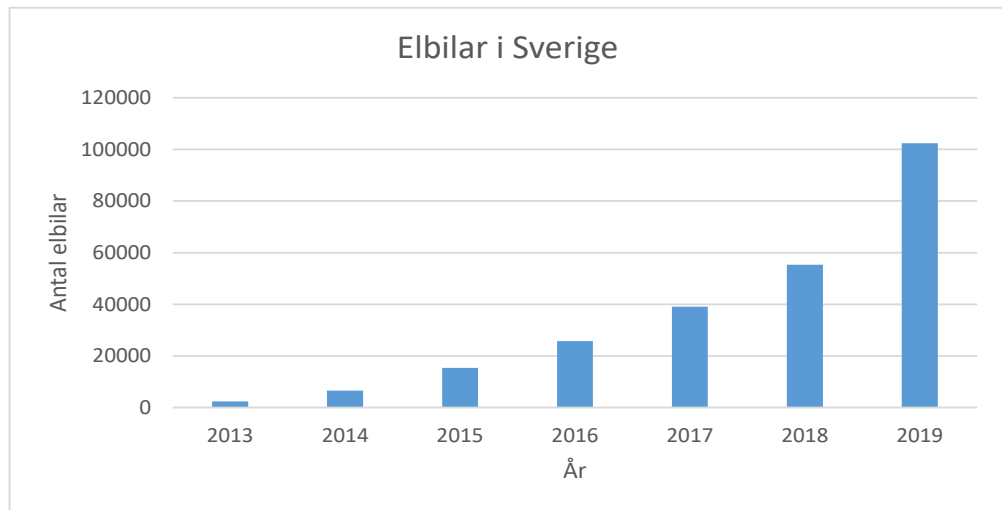
Om information kring en anläggnings förbrukningsmönster läcker utsätts anläggningen för en särskild risk. Det är på grund av att det kan förutspås när eller om det befinner sig någon i anläggningen. På det sättet ökar anläggningens sårbarhet och därmed risken för exempelvis inbrott. Det är bland annat därför nätsäkerheten kring känslig information som berör personuppgifter bör prioriteras.

A Bilaga



Figur 9: Elförbrukning i Sverige. [2]

B Bilaga



Figur 10: Elbilar i Sverige. [3]

Referenser

- [1] **dLab** 2019. *Digitalisering möjliggör proaktivitet för elnätsbolag*. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.mynewsdesk.com/se/dlab/news/digitalisering-moejliggoer-proaktivitet-foer-elnaetsbolag-383140> [Hämtad 2020-02-18]
- [2] **Statistiska centralbyrån** 2019. *Elanvändningen i Sverige efter användningsområde (SNI92). År 1993-2019*. Stockholm. Tillgänglig: <http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/> [Hämtad 2020-02-19]
- [3] **Elbilsstatistik**. 2019. *LADDBARA BILAR I SVERIGE 2012-2019*. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.elbilsstatistik.se/elbilsstatistik> [Hämtad 2020-02-19]
- [4] **Sagemcom**. 2019. *Companion Standard Common requirements for Electricity meters Interchangeability and Interoperability v1.12*. [Hämtad 2020-02-20]
- [5] **Energimarknadsinspektionen**. 2014. *Uppföljning av timmätningsreformen*. Eskilstuna. Tillgänglig: https://ei.se/Documents/Publikationer/rapporter_och_pm/Rapporter%202014/Ei_R2014_05.pdf [Hämtad 2020-03-30]
- [6] **Energimarknadsinspektionen**. 2017. *Tillsyn avseende leveranskvaliteten i elnäten - Erfarenheter och resultat från tillsyn av leveranskvalitet 2016*. Eskilstuna. Tillgänglig: https://www.ei.se/Documents/Publikationer/rapporter_och_pm/Rapporter%202017/Ei_R2017_02.pdf [Hämtad 2020-05-05]
- [7] **Elforsk**. 2010. *Hantering av elmätning vid småskalig produktion och andra udda belastningsfall*. Stockholm. Tillgänglig: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21947/hantering-av-elmatning-vid-smaskalig-produktion-och-andra-udda-belastningsfall.pdf>
- [8] **Energimarknadsinspektionen**. 2015. *Funktionskrav på elmätare - Författningsförslag*. Eskilstuna. Tillgänglig: https://www.ei.se/Documents/Publikationer/rapporter_och_pm/Rapporter%202017/Ei_R2017_08.pdf [Hämtad 2020-05-06]
- [9] **EU-kommissionen**. 2015. *KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2015/1222 av den 24 juli 2015 om fastställande av riktlinjer för kapacitetstilldelning och hantering av överbelastning*. Bryssel. Tillgänglig: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A32015R1222#d1e1595-24-1> [Hämtad 2020-05-09]

- [10] **Krisinformation**. 2019. *Reservkraft och styrel*. Stockholm.
Tillgänglig: <https://www.krisinformation.se/detta-kan-handa/stromavbrott-ny/styrel> [Hämtad 2020-05-10]
- [11] **Lunds Universitet**. 2015. *AC-kretsar - Växelströmsteori*. Lund.
Tillgänglig: https://www.eit.lth.se/fileadmin/eit/courses/etia01/1011/Forelasning_11_Vektorrepresentation.pdf [Hämtad 2020-05-12]
- [12] **ONE Nordic AB**. 2019. *Energimätning och mättransformatorer*. Arlöv.
Hämtad 2020-05-27
- [13] **Keysight Technologies EMEA**. 2017. *What is a Rogowski Coil Current Probe?* Santa Rosa.
Tillgänglig: <https://www.rs-online.com/designspark/what-is-a-rogerski-coil-current-probe>. [Hämtad 2020-05-12]
- [14] **Wikipedia**. 2009. *Test Probe*.
Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Stromwandler_Zeichnung.svg.
- [15] **Honeywell**. 2009. *HALL EFFECT SENSING AND APPLICATION*. Charlotte.
Tillgänglig: <https://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf> [Hämtad 2020-05-12]
- [16] **Northumbria University**. 2014. *A New Trimming Approach for Shunt Resistors Used in Metering Applications*. Newcastle.
Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7015778> [Hämtad 2020-05-12]
- [17] **EU-kommissionen**. 2012. *CONSUMER MARKETS SCOREBOARD - Making markets work for consumers - 8th edition - December 2012*. Luxemburg.
Tillgänglig: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a29c6547-e221-4e09-99fc-a79138575124/language-en/format-PDF/source-93376425> [Hämtad 2020-05-13]