

DIGITALISERING FÖR EFTERFRÅGEFLEXIBILITET

RAPPORT 2021:737



Digitalisering för efterfrågefleksibilitet

DAVID ZAGERHOLM

SUSANNE ACKEBY

CHRISTOPHER WIIG

ISBN 978-91-7673-737-8 | © Energiforsk mars 2021

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Behovet av flexibilitet blir större med ökad andel av intermittert produktionen. En ökad elektrifiering ställer också högre krav på nätens kapacitet. Att nyttja flexibiliteten hos slutkunder är en av pusselbitarna för att kunna möta behovet.

Projektet *Digitalisering för efterfrågefleksibilitet* belyser de digitaliseringskrav som ställs för att möta energisystemets flexibilitetsbehov med avseende på effekt och hur olika privatkunders och större brukare flexibilitetskällor kan nyttjas. Olika möjligheter för att aktivera flexibiliteten, vad som triggar aktiveringen och de inblandade aktörernas roller beskrivs. Projektresultatet avser att underlätta för nätbolag och övriga intressenter genom att få en bättre överblick över hur en realisering av tillgänglig flexibilitet hos slutkunder kan komma elnätet till nytta.

Projektet ingår i programmet Elnätens digitalisering och IT-säkerhet. Projektledaren Susanne Aceby på DNV/GL har tillsammans med David Zagerholm och Christopher Wiig genomfört projektet.

Energiforsk vill framföra ett stort tack till referensgruppen, som bidragit med synpunkter, erfarenheter och varit ett bollplank för Susanne under projektets gång. Referensgruppen har bestått av:

- Harald Klomp, Vattenfall
- Ferruccio Vuinovich, Göteborgs Energi
- Magnus Sjunnesson, Öresundskraft
- Cajsa Bartusch, Uppsala universitet

Programstyrelsen som initierat, följt upp och godkänt projektet, består av följande ledamöter:

- Kristina Nilsson, Ellevio ordförande
- Arne Berlin, Vattenfall Eldistribution
- Hampus Bergquist, Svenska kraftnät
- Ferruccio Vuinovich, Göteborg Energi
- Teddy Hjelm, Gävle Energi (Elinorr)
- Torbjörn Solver, Mälarenergi vice ordförande
- Magnus Sjunnesson, Öresundskraft
- Adam Nilsson, Jämtkraft
- Magnus Brodin, Skellefteå Kraft
- Johan Örnberg, Umeå Energi Elnät
- Peter Ols, Tekniska Verken i Linköping
- Jesper Bjärvall, Karlskoga Energi
- Peter Addicksson, HEM
- Malin Wallenberg, VB Energi
- Claes Wedén, Hitachi ABB Power Grids
- Katarina Porath, ABB
- Björn Ällebrand, Trafikverket
- Patrik Björnström, Sveriges Ingenjörer (Miljöfonden)
- Matz Tapper, Energiföretagen Sverige

Följande bolag har deltagit som intressenter till projektet. Energiforsk framför ett stort tack till samtliga bolag för värdefulla insatser.

Ellevio, Vattenfall Eldistribution, Göteborg Energi, Mälarenergi Elnät, Öresundskraft Elnät, Tekniska Verken i Linköping, Skellefteå Kraft Elnät, Umeå Energi Elnät, Jämtkraft Elnät, Eskilstuna Strängnäs Energi & Miljö, Karlstads El- och Stadsnät, Borås Elnät, Halmstad Energi och Miljö Nät, Luleå Energi Elnät, Borlänge Energi, Nacka Energi, Västerbergslagens Elnät, PiteEnergi, Södra Hallands Kraftförening, Karlskoga Elnät, Svenska kraftnät, Sveriges ingenjörer (Miljöfonden), Trafikverket, Forumet Swedish Smartgrid, Teknikföretagen, Huawei Sverige, Exeri, Evado, Hitachi Power Grids, ABB, Elinorr ekonomisk förening; Bergs Tingslags Elektriska, Blåsjön Nät, Dala Energi Elnät, Elektra Nät, Gävle Energi, Hamra Besparingsskog, Hofors Elverk, Härjeåns Nät, Härnösand Elnät, Ljusdal Elnät, Malungs Elnät, Sandviken Energi Nät, Sundsvall Elnät, Söderhamn Elnät, Åsele Elnät, Årsunda Kraft & Belysningsförening och Övik Energi Nät.

Stockholm i mars 2021

Susanne Stjernfeldt
Energiforsk AB
Programområde Elnät, Vindkraft och Solel

Sammanfattning

Det svenska elsystemet kommer genomgå en stor förändring de kommande åren med tanke på ett mer klimatsmart och digitaliserat samhälle. En del i denna förändring är en högre andel intermittenta energikällor i elsystemet vilket bidrar till svårigheter att planera energiproduktionen. Utöver det finns det existerande problem i dagens elsystem som till exempel frekvenshållning och lokala nätproblem. Att nyttja efterfrågefleksibiliteten hos slutkunder är en av pusselbitarna för att kunna möta dessa och andra utmaningar i ett framtida elsystem vilket bedöms bli allt mer komplext. Efterfrågefleksibilitet är en frivillig ändring av efterfrågad elektricitet från elnätet under en kortare eller längre period som sker genom att man styr sin elanvändning. Styrningen kan ske indirekt, genom att kundens användarmönster påverkas, eller direkt, genom att utrustning automatiskt reagera på olika signaler.

Det är viktigt att poängtera att kraftsystemet har olika flexibilitetsbehov, att det finns olika aktörer som kan bidra med flexibilitet samt att det finns olika sätt att bidra med flexibilitet på. De behov som privatkonsumenter och mindre brukare föreslås kunna bidra till att lösa med hjälp av efterfrågefleksibilitet är behovet av effektbalans och nätkapacitet. För dessa behov måste tjänster utvecklas som efterfrågefleksibilitet kan knytas till. För att elnätsföretagen ska kunna påverka hur efterfrågefleksibiliteten styrs måste de se till att kunna ta del av dessa tjänster genom att vara en del av marknaden.

Privatkunder och mindre brukare har olika möjliga källor till flexibilitet (olika typer av laster som kan styras). Laster med inbyggd tröghet så som uppvärmning av fastighet, varmvattenberedare eller laddning av elbil anses vara bra källor. För att de källor som finns hos privatkunder och mindre brukare ska kunna nyttjas krävs någon form av aggregering. Detta då det krävs en minsta budstorlek, som överstiger möjligheten hos ett enskilt hushåll, för delta på olika marknader.

Det finns olika lösningar för att realisera flexibilitet. Baserat på de möjligheter som finns med dagens regelverk föreslås tre lösningar över hur efterfrågefleksibilitet från privatkunder kommer kunna nyttjas, nämligen:

- Effektbalans (på transmissionsnättnivå)
 - Balansreglering (Långsiktiga, timmar)
 - Balanstjänster (Kortsiktiga, sekunder – minuter)
- Kapa effekttoppar via flexibilitetsmarknad (möta behov av nätkapacitet)
- Kapa effekttoppar via bilaterala avtal (möta behov av nätkapacitet)

Idag finns redan fungerande marknader för både handel med el (Nord pool) och balanstjänster. Olika marknader för flexibilitet testas vid olika piloter som så exempelvis SthlmFlex. Bilaterala avtal för att påverka effekttuttag finns redan i dagsläget, men för vår kännedom endast vid piloter för att utnyttja efterfrågefleksibilitet hos privatkunder eller mindre brukare.

Då nätkoncessionsområdet endast sträcker sig fram till mätaren kommer elnätsföretagen ha begränsade möjligheter att själva erbjuda flexibla tjänster, utan dessa kommer troligen erbjudas av andra aktörer på elmarknaden.

Aktiveringen av efterfrågefleksibilitet för direkt laststyrning hos privatkunder kan delas upp i två delar:

1. Vilka behov som triggat aktiveringen.
2. Hur aktiveringen rent tekniskt går till när den väl är triggad.

Beroende på vilket behov flexibiliteten avses utnyttjas till, eller vilken aktör som triggat aktiveringen, så kommer tjänsterna för att tillgodose behovet utvecklas för att styra bäst lämpad last hos kunden.

Marknadsplatserna där dessa tjänster förmedlas kräver tillräckligt öppna lösningar med väl definierade processer. Processerna måste vara automatiserade vilket ställer krav på digitalisering. Ju mer digitaliserat ett system blir, desto viktigare blir det att utrustning och aktörer som ingår i systemet på ett harmoniserat sätt kan kommunicera med varandra. Standarder och ramverk har därför en väsentlig och central roll vid realiseringen av att nyttja efterfrågefleksibilitet. Bl.a. är krav på att följa de standarder som finns relaterade till IT-säkerhet ett sätt att minska några av de risker som finns relaterade till digitalisering av efterfrågefleksibilitet.

Summary

The Swedish electric power system will in the coming years undergo major changes as a result of a more climate-smart and digitalized society. Part of this change is a higher proportion of intermittent energy sources in the power system, which contributes to difficulties in planning the energy production. In addition, there are existing problems in today's power system such as frequency management and local grid problems. Utilizing the demand response of end customers is one of the pieces of the puzzle to be able to meet these and other challenges in a future power system, which is expected to become increasingly complex. Demand response is a voluntary change of requested electricity from the power system for a shorter or longer period that takes place by controlling the electricity use. The control can take place implicitly, by affecting the customer's user pattern, or explicitly, by equipment automatically reacting to different signals.

It is important to point out that the power system has different flexibility needs, that there are different actors who can contribute with flexibility and that there are different ways of contributing with flexibility. The needs that private consumers and smaller users are proposed to be able to contribute to solving by utilizing demand response are the need for balance services and network capacity. For these needs, services must be developed to which demand response can be linked. For DSOs to be able to influence how demand response is managed, they must ensure that they can take part in these services by being part of the market.

Private customers and smaller users hold different possible sources of flexibility (different types of loads that can be controlled). Loads with built-in inertia such as heating the property, water heater or charging an electric car are considered good sources. For the available sources of demand response to be quantified, some form of aggregation is required. This is because a minimum bid size, which exceeds the possibility of an individual household, is required to participate in different markets.

There are various solutions for realizing flexibility. Based on the possibilities that exist with the current regulations, three solutions are proposed for how demand response from private customers can be used, namely:

- Power balance (at transmission network level)
 - Balance adjustment (long term, hours)
 - Balance services (short term, seconds-minutes)
- Peak shaving via flexibility market (to meet the demand for grid capacity)
- Peak shaving via bilateral agreements (to meet the demand for grid capacity)

Today, there are already functioning markets for electricity trade (Nord pool) and balance services. Different markets for flexibility are tested in different pilots, such as SthlmFlex. Bilateral agreements to influence power consumption already exist

today, but to our knowledge only in the case of pilots to utilize demand response among private customers or smaller users.

As the network concession area only extends to the meter, DSOs will have limited opportunities to offer flexible services themselves, but these will probably be offered by other players in the electricity market.

The activation of explicit demand response at private customers can be divided into two parts:

1. What needs trigger the activation.
2. How the activation technically takes place once it has been triggered.

Depending on which need the flexibility is intended to be utilized for, or which actor triggers the activation, the services to meet the need will be developed to control the most suitable load at the customer.

The marketplaces where these services are provided probably require open solutions with well-defined processes. The processes must be automated, which requires digitization. The more digitalized a system becomes, the more important it becomes that equipment and actors included in the system can communicate with each other in a harmonized way. Standards and frameworks therefore play an essential and central role in the realization of utilizing demand response. For example, compliance with the standards associated with IT security is a way of reducing some of the risks associated with digitizing demand response.

Innehåll

Introduktion	11
Rapportöversikt	11
1 Beskrivning av flexibilitet	13
1.1 Efterfrågefleksibilitet bland privatkonsumenter	13
1.2 Kraftsystemets olika flexibilitetsbehov	14
1.2.1 Balanstjänster	16
1.2.2 Spänningsreglering	16
1.2.3 Balansreglering	17
1.2.4 Nätkapacitet	17
1.3 Aktörer som kan bidra med flexibilitet	18
2 Möjliga källor till flexibilitet hos privatkunder och mindre brukare	22
2.1 Aggregering av laster	24
3 Lösningar för att realisera flexibilitet	25
3.1 Begränsande faktorer i lagstiftning och regelverk	25
3.2 Aktörer på den svenska elmarknaden	26
3.3 Aktivering av efterfrågefleksibilitet	28
3.4 Ramverk	29
3.4.1 SGAM (Smart Grid Architecture Model)	29
3.4.2 USEF (Universal Smart Energy Framework)	31
3.5 Marknadsplattformar	32
3.5.1 Nord Pool	32
3.5.2 Reservmarknader	33
3.5.3 NODES33	
3.5.4 Switch 34	
3.6 Aktörer med marknadslösningar för efterfrågefleksibilitet	34
3.6.1 Tibber 35	
3.6.2 Ngenic 36	
3.6.3 Power2U	37
3.6.4 Apple och Google	37
3.6.5 Ett exempel på tidiga användare	37
3.7 Sammanfattning	38
4 Pilotprojekt	40
4.1 CoordiNet	40
4.2 SthlmFlex	40
4.3 Simris	40
4.4 Power matching city	41
4.5 Norska piloter	41
5 Krav, standarder och interoperabilitet	42
5.1 Energimarknadsinspektionens bedömning av standardisering	42

5.2	Generella standarder och kommunikationsprotokoll	43
5.3	Informationssystemets uppbyggnad	45
5.3.1	Ramverk för flexibilitet – till exempel USEF	45
5.3.2	Informationsmodeller – till exempel CIM (Common information model) ⁴⁶	
5.3.3	Kommunikationsprotokoll	46
5.3.4	Nätverksprotokoll	47
5.4	Exempel på kommunikationslösningar för efterfrågefleksibilitet	47
5.4.1	Vad digitaliseringen i praktiken betyder för elnätsföretagen	49
5.5	Den smarta Energimätaren	50
5.5.1	Den smarta elmätaren som en del av lösningen för efterfrågefleksibilitet	51
6	Risker	52
6.1	Exempel på risker relaterade till digitalisering av efterfrågefleksibilitet	53
6.2	Exempel till Förslag på hur riskerna kan minskas	56
7	Slutsats	57
8	Referenser	59

Introduktion

De svenska energi- och klimatmålen innebär att elproduktionen år 2040 skall vara 100% förnybar. En högre andel väderberoende elproduktion i form av vind- och solkraft innebär att elmarknaden måste anpassas för att utnyttja de flexibla resurser som finns tillgängliga i elsystemet.

Den större andelen intermittenta energikällor så som vind- och solenergi ställer allt större krav på ett flexibelt energisystem. Utmaningarna det resulterar i ligger bland annat i hur man skall hantera det behov av topp effekt, sett över dygnets 24 timmar, som kommer uppstå i och med ett allt mer elektrifierat samhälle. Lösningen till utmaningarna är sannolikt en kombination av olika åtgärder vilka tillsammans skapar ett energisystem tillräckligt flexibelt för att hantera exempelvis dessa topp effekter.

En av dessa åtgärder är att utnyttja den flexibilitetspotential som redan finns hos slutkunden, efterfrågefleksibilitet [1]. I längden är förhoppningen att efterfrågefleksibilitet skall vara en av de möjliga lösningar som kan väga upp mot redan existerande problem i dagens elnät så som frekvenshållning, effektbrist och elnätsproblematik på lokal nivå. Dessa problem är bara några av dem som kan komma att bli mer påtagliga i och med att elanvändningen ökar i kombination med en allt större andel decentraliserad, väderberoende elproduktion ansluten via kraftelektronik.

Förslag på hur denna efterfrågefleksibilitet skall realiseras och implementeras som en resurs på elmarknaden sett utifrån digitaliseringsperspektivet behandlas i denna rapport.

Rapporten har utförts av DNV GL. Till vår hjälp har vi under projektets gång haft hjälp av en referensgrupp bestående av Cajsa Bartusch (Uppsala Universitet), Ferruccio Vuinovich (Göteborgenergi), Magnus Sjunneson (Öresundskraft) och Harald Klomp (Vattenfall). Vi skulle vilja rikta ett stort tack till referensgruppen för deras deltagande med expertis och input vilket bidragit till att utforma denna rapport.

Utöver författarna har även Muhammed Babar (DNV GL) bidragit till de tekniska delarna i denna rapport, samt i rollen som projektponsor har Ambra Sannino (DNV GL) deltagit i referensgruppen och bidragit med granskning.

RAPPORTÖVERSIKT

Rapporten är uppdelad i sex kapitel. Det första kapitlet beskriver flexibilitet, kraftsystemets olika flexibilitetsbehov samt aktörer som kan bidra med flexibilitet.

I det andra kapitlet diskuteras möjliga källor till flexibilitet hos privatkunder och mindre brukare.

I det tredje kapitlet diskuteras lösningar för att realisera flexibilitet. Lagstiftning och regelverk, aktivering samt vikten av att lösningen baseras på någon form av ramverk så som till exempel USEF belyses. Detta kapitel beskriver även

översiktligt olika marknadsplattformar samt en sammanfattning över tre lösningar som vi anser kunna lösa hur efterfrågefleksibilitet från privatkunder kommer kunna nyttjas som resurs till kraftsystemets flexibilitetsbehov.

Kapitel fyra ger exempel på några intressanta pilotprojekt kopplade till efterfrågefleksibilitet.

Kapitel fem beskriver krav, standarder och interoperabilitetsaspekter som anses vara relevanta för att kunna realisera efterfrågefleksibilitet. Generella standarder förklaras och hur ett informationssystem är uppbyggt beskrivs. Ett exempel på en kommunikationslösning ges och till sist diskuteras även den smarta elmätarens roll.

Kapitel sex ger exempel på risker relaterade till digitalisering av efterfrågefleksibilitet inom IT-säkerhet, finansiella risker samt risker med lagar och avtal samt inom roller och ansvar.

1 Beskrivning av flexibilitet

Generellt definieras flexibilitet i ett elnät som den kapacitet som finns att öka eller minska den elektriska lasten jämfört med nivån den normalt skulle ha under en specifik tidsperiod. Denna definition kan ha olika innebörd beroende på om aktören är elproducent eller nätägare. En elproducent kan till exempel vara intresserad av att matcha flexibel efterfrågan mot förnybar elgenerering medan nätägaren kan vara intresserad av flexibilitet för att exempelvis undvika toppeffekter i nätet [2].

Det finns en mängd rapporter som behandlar flexibilitet i elnätet, däribland [2] [3] [4]. Den observationen som kan göras är att definitionen av flexibilitet i elnätet skiljer sig beroende på vilken synvinkel i "frågan om flexibilitet" rapporten behandlar. Typen av aktör spelar en stor roll för definitionen och detta är en del av problematiken i hur efterfrågefleksibilitet skall triggas och aktiveras.

Energimarknadsinspektionen, fortsättningsvis Ei, som bland annat tagit fram författningsförslaget för funktionskraven på de nya elmätarna har baserat sin definition som efterfrågan från nätet snarare än kundens elförbrukning enligt nedan [3]:

"Efterfrågefleksibilitet är en frivillig ändring av efterfrågad elektricitet från elnätet under kortare eller längre perioder till följd av någon typ av incitament"

Anledningen till detta är det inte går att likställa en elkunds elförbrukning med den efterfrågade elektriciteten från elnätet eftersom kunden kan ha lagringsmöjligheter eller egen produktion [3].

Efterfrågefleksibilitet är många gånger ett diffust begrepp som kräver att det definieras i det sammanhang det används. I denna rapport används Ei's definitionen ovan med avseende på efterfrågefleksibilitet bland privatkonsumenter och mindre brukare.

1.1 EFTERFRÅGEFLEXIBILITET BLAND PRIVATKONSUMENTER

Flexibilitet är redan idag något som de industrier som ingår i effektreserven "förbrukarreduktion" kan sälja på elmarknaden. Förenklat innebär detta att den industriella aktören är beredd att dra ner sin förbrukning och få ekonomisk kompensation som betalning för att vara flexibel [5]. De som är mottagare av flexibiliteten är till exempel elnätsföretagen och är på så vis den part som även styr flexibiliteten med ekonomiska incitament.

Samma typ av flexibilitet som industriella aktörer kan erbjuda är en potential som bland privatkonsumenter idag går relativt outnyttjad. För att skapa en flexibilitet på den privata marknaden för el brukar man prata om direkt och indirekt styrning av konsumtion. I denna rapport ligger fokus på den direkta styrningen hos privatkunder och mindre brukare men båda begreppen av styrning beskrivs nedan.

Indirekt styrning

Den indirekta styrningen syftar till att påverka kundens användarmönster, exempelvis genom timvarierande elpriser. På så vis skall kunden då ta beslut som gynnar dennes ekonomi och samtidigt exempelvis elnätsföretagens behov genom att på egen hand planera sin elkonsumtion. Rent potentiellt skulle elnätsföretagen själva kunna påverka användandet genom att anpassa nättarifferna med rörliga effekt- och energiavgifter [6].

Direkt styrning

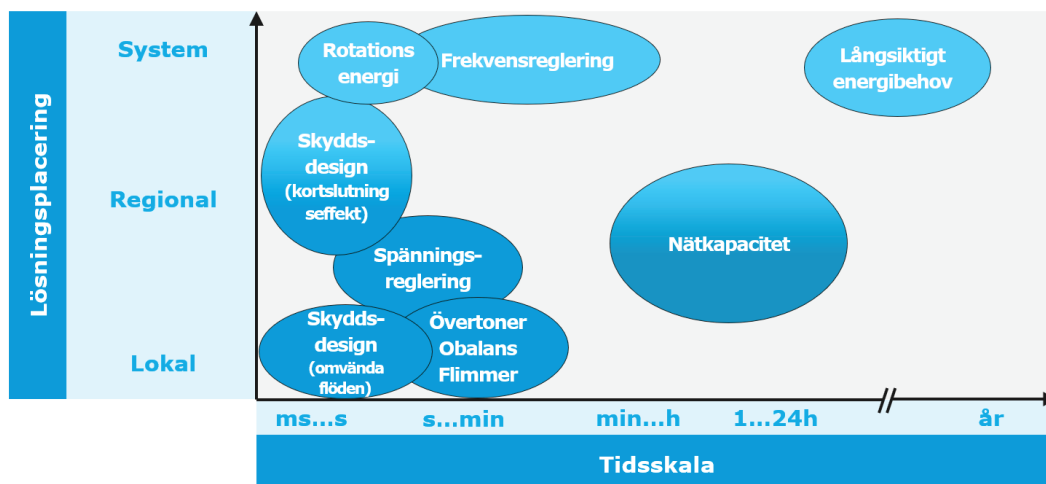
Den direkta styrningen ämnar till skillnad från den indirekta styrningen inte till att förändra konsumentens beteendemönster. Snarare låter man utrustning i hemmet automatiskt reagera på olika signaler. Utrustning som lämpar sig för direkt styrning är till exempel värmepumpar och laddstationer för elbil. Signalerna kan vara triggade av till exempel elnätsföretagens behov att kunna driva elnätet på bästa sätt vid varje tidpunkt.

För att förstå innebörden av efterfrågefleksibilitet är det viktigt att först belysa kraftsystemets olika flexibilitetsbehov, vilka aktörer som kan bidra med flexibilitet samt på vilket sätt.

1.2 KRAFTSYSTEMETS OLIKA FLEXIBILITETSBEHOV

Kraftsystemets flexibilitetsbehov har utretts och beskrivits i många olika sammanhang, exempelvis [4] [7]. Ofta sker kategoriseringen efter lösningar som bidrar till kraftsystemets flexibilitetsbehov på regional/lokal nivå samt systemnivå. För varje behov beskrivs sedan påverkan på nätegenskap, orsaken till att behovet uppstår och tidsskalan det måste hanteras på. Kategoriseringen i sig kan hypotetiskt fokusera på olika behov och vara mer eller mindre detaljerade.

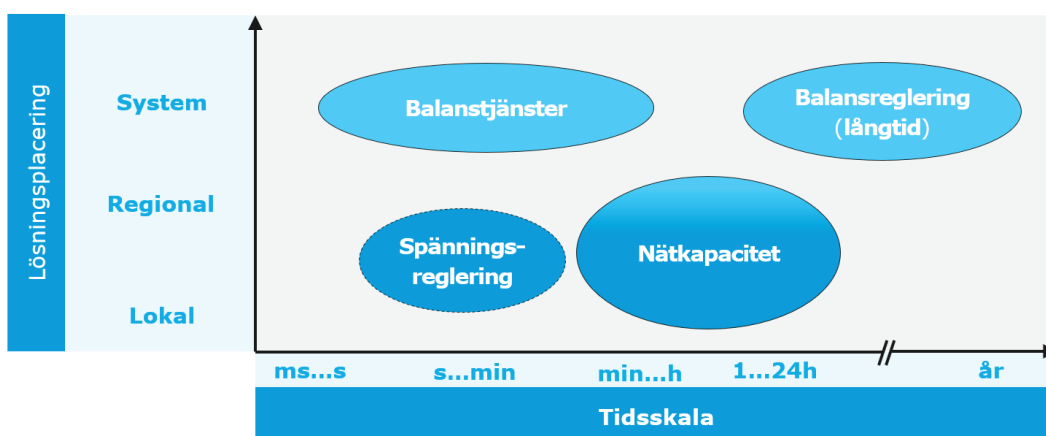
Figur 1 försöker illustrera hur energiomställningen mot allt fler förnyelsebara energikällor genererar olika behov vars lösningar har olika krav gällande både placering och tidsskala. Nätkapacitet (exempelvis till följd av en överbelastad transformator) är till exempel ett behov som kräver en lösning placerad i relation till var problemet uppstår vilket kan vara både på distributions- eller på transmissionsnättnivå. Behovet behöver oftast åtgärdas under tidsskalan minuter - timmar. Lösningar för behovet av rotationsenergi (vilket uppstår till följd av en minskande andel rotationsenergi i sin tur till följd av en högre andel intermittent elproduktion) ligger på systemnivå och kräver därför inte en specifik placering. Lösningen måste dock kunna aktiveras väldigt snabbt d.v.s. på millisekund till sekundnivå.



Figur 1 Påverkan av energiomställningen på elsystemets behov geografiskt i elnätet och över tid.

I denna rapport har valet gjorts att använda en omarbetad version av de olika behoven av flexibilitet som definierats i rapporten från International Smart Grid Action Network (ISGAN), *Flexibility needs in the future power system* [7]. Tanken med kategoriseringen är att belysa att det finns olika flexibilitetsbehov som lämpar sig att mötas av olika resurser.

Omarbetningen nämnd ovan innebar att behoven i Figur 1 sammanfattades i de fyra flexibilitetsbehoven *balanstjänster*, *balansreglering*, *spänningsreglering* och *nätkapacitet*. Detta presenteras i Figur 2 och visar hur dessa behov samverkar över tid och utsträckning för att vara för sig vara delar i en gemensam lösning för ett flexibelt elsystem.



Figur 2 Behov för ökad flexibilitet

Nedan följer en övergripande beskrivning av dessa behov och hur de ur kraftsystemets perspektiv kan utnyttja flexibilitet.

1.2.1 Balanstjänster

Med en större andel väderberoende elektrisk produktion som är svår att planera, inte minst på kort sikt, kommer effektbalansen i elnätet under vissa tidpunkter vara svår att bibehålla. Jämnvikten mellan elektrisk produktion och elektrisk efterfrågan i varje tidsinstans är en av de viktigaste parametrarna för ett fungerande elsystem. Systemstabiliteten utmanas av minskande rotationsenergi och intermitterent produktion. Med en minskande rotationsenergi minskar även den naturliga trögheten mot störningar i elsystemet. Det resulterar i att flexibilitetsåtgärder med snabb responstid kommer bli all viktigare. Intermitterent produktion och nya konsumtionsmönster gör det allt svårare att förutse lastbehovet och tillgången på produktion varför behovet av flexibilitetsmarginaler blir större.

Flexibilitet i avseende på balanstjänster är ett kraftfullt verktyg för att säkerställa frekvensstabilitet på kort sikt i ett systemperspektiv.

Tidshorizonten för balanstjänsternas bidrag till flexibilitet är delar av en sekund upp till en timma.

1.2.2 Spänningsreglering

Flexibilitet i avseende på spänning är något som blir viktigare allteftersom den distribuerade genereringen breder ut sig. En väl definierad spänning är viktigt för elkvaliteten.

I och med en allt mer decentraliserad förnybar produktion på lokalnättnivå ändras lastflöden som följd vilket kan förändra nätets spänningsprofil. För att säkerställa att spänningsnivån även fortsatt ligger inom tillåtna gränser behöver flexibla lösningar för att upprätthålla spänningen komma på plats. Spänningsreglering hanteras i stor utsträckning av transformatorernas lindningskopplare, men även genom reaktiv effektkontroll med hjälp av exempelvis shunt-kompensering.

En undersökning som Kantar Sifo har gjort visar att 3 % av svenskarna har en egen solenergianläggning och att över hälften av de tillfrågade tror att de själva kommer äga en inom 10 år [8]. Med en ökande andel ansluten solenergi kan det under låglastperioder bli problem med för höga spänningar i nätet. Ett sätt att hantera detta är att öka nyttjandet av shuntreaktorer i distributionsnätet. Ett annat exempel på lösning kan vara att de lokala produktionsanläggningarna kan bidra till spänningshållningen, exempelvis genom tjänster som styr baserat på analys av mätdata som hämtas via elmätaren. Det kan även vara relevant att se över tillåtna nivåerna på elkvalitet om studier visar på att utrustning som ansluts till näten blivit tåligare gällande spänningsnivåer.

Spänningsreglering kan användas för att reglera efterfrågan under kortare tidsperioder då spänningsberoende laster initialt förbrukar mindre effekt men återhämtar sig efter ett tag.

Tidshorizonten för spänningsreglering är sekunder upp till timmar.

1.2.3 Balansreglering

I avseende på balansreglering är det tillgången på lagrad energi som refereras till i störst utsträckning. Lagrad energi ses som en resurs som går att planera uttaget från över tid.

Säsongsberoende elektrisk produktion som vattenkraft är ett exempel på detta. Ett vattenkraftverk är beroende av ett konstant vattenflöde för att ge tillförlitlig produktion över tid. För att kunna planera den elektriska produktionen över tid används vattenmagasin för att lagra vattnet. Värmekraftverk och kärnkraft i sin tur har möjlighet att lagra bränsle för att kompensera för variationer på tillgång sett över tid.

I och med en ökad elproduktion som inte bygger på lagrad energi blir osäkerheten kring hur den elektriska produktionen ser ut imorgon stor. Energikällor så som sol och vind ger statistiska möjligheter att planera den elektriska produktionen sett på årsbasis men för att säkerställa tillgången på energi för varje tidpunkt under hela året krävs flexibla lösningar. Att lagra energi när tillgången är stor och efterfrågan är liten för att använda när situation är omvänd är ett exempel på ett behov av energiflexibilitet och balansreglering. Behovet av energiflexibilitet och balansreglering kan även mötas via möjligheten att kunna ändra efterfrågad elektricitet från elnätet utefter tillgången på energi.

Tidshorisonten för balansreglering är timmar upp till ett år.

1.2.4 Nätkapacitet

Flexibilitet i avseende på nätkapacitet handlar om nätets förutsättningar att hantera den elektricitet som produceras på en viss plats och i sin tur leverera den till den plats där den konsumeras.

Problematiken ligger i att elnät ofta begränsas av den nätkapacitet som finns tillgänglig vilket kan resultera i en hämmad produktion, eller problem vid ett ökat uttag av effekt. Nätkapacitet är ofta något som är förankrat i hur transmissionsnätet och distributionsnäten är dimensionerade och inte något man kan stärka utan stora ekonomiska investeringar. Kapacitetsgränsen kan exempelvis vara relaterad till termiska begränsningar, begränsning av en lednings nedhäng eller risk för stabilitetsproblem. Samtidigt är det inte ekonomiskt försvarbart att dimensionera elnätet efter toppeffekter som kanske bara inträffar ett fåtal gånger per år.

Driftplanering kan vara en del av lösningen och man måste se till att utnyttja den flexibilitet som redan finns i elsystemet. Exempel på sådan flexibilitet kan vara att utnyttja nätet mer optimalt (och inte ha onödigt höga marginaler) vilket är möjligt via den ökade informationen om faktiska nivåer i nätet, vilka fås genom simuleringar i realtid. Även att kunna minska den effekt som förbrukas under tidpunkter för topplast, så kallad "peak-shaving", kan ses som flexibilitet som utgör en mycket effektiv åtgärd. Att kapa effekttoppar kan exempelvis åstadkommas genom att elanvändarna begränsar sitt uttag eller att energilager under en överlastad punkt i nätet bidrar med effekt och på så sett minskar den totala effekten genom den begränsande utrustningen. Värdet i att kapa

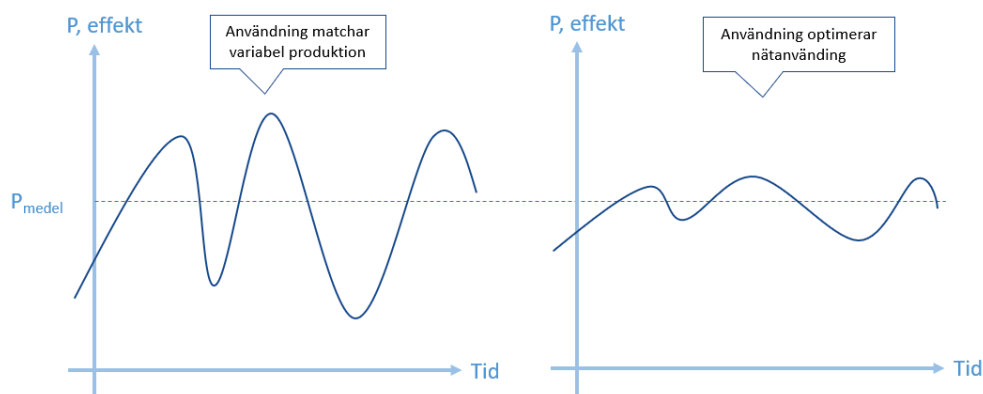
effekttoppar kan för ett elnätsföretag innebära att man kan skjuta upp investeringar för effekthöjning i en transformatorstation.

Tidshorisonten för nätkapacitet som behov är främst minuter upp till flera timmar men svarstider på tjänster för efterfrågefleksibilitet för att lösa behovet kan vara påsekundnivå.

1.3 AKTÖRER SOM KAN BIDRA MED FLEXIBILITET

Som nämndes i inledningen av rapporten är troligen lösningen för att skapa ett tillräckligt flexibelt elsystem en kombination av olika lösningar och olika aktörer. Beroende på aktörens specifika karaktäristik och roll i elnätet lämpar de sig olika väl för olika behov beroende på tidpunkt.

Det är viktigt att notera att behoven ibland kan vara motstridiga beroende på vem som efterfrågar flexibiliteten.



Figur 3 Effektuttag då flexibilitet används för att optimera efter variabel produktion (till vänster) samt nätanvändning (till höger).

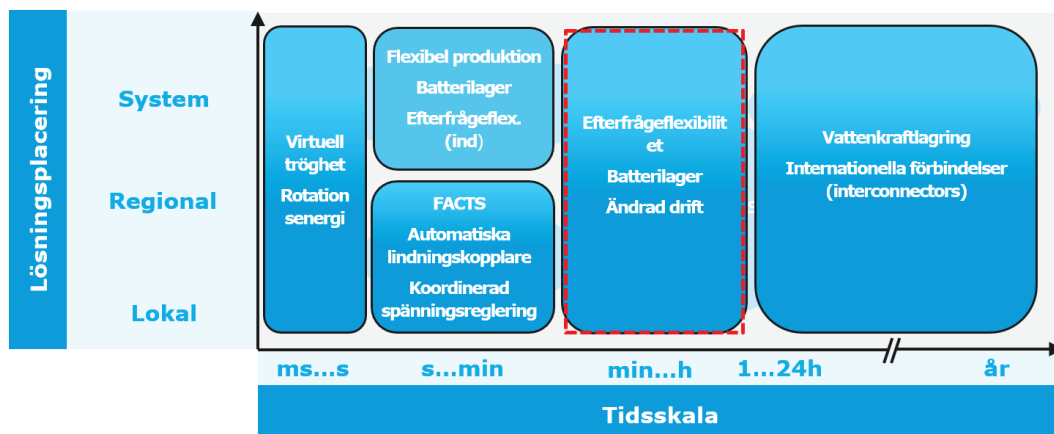
I Figur 3 visar den vänstra grafen den resulterande effekten då flexibiliteten använts för att skapa en lastprofil som matchar den aktuella variabla produktionen och den högra grafen den resulterande effekten då flexibiliteten istället använts för att skapa en lastprofil som optimerar nätanvändningen. Medeleffekten är lika för båda fallen men i det vänstra fallet är maxeffekten högre än i det högra.

Figur 4 visar exempel på lösningar som kan implementeras för att öka elnätets flexibilitet efter geografisk placering och hur lösningarna kan utnyttjas i tid. Flexibilitetsbehoven som de exemplifierade lösningarna önskar avhjälpa visas i Figur 2.

På den korta tidshorisonten, millisekunder till sekunder, fungerar rotationsenergi i de roterande massorna i exempelvis synkrongeneratorerna hos kärnkraft och vattenkraft till systemets förmåga att motstå frekvensförändringar. Virtuellt rotationsenergi i exempelvis vindkraftsparker är något som kan bidra för att minska problematiken med minskad naturlig rotationsenergi.

Tidshorisonten sekunder till minuter ger utrymme för olika typer av flexibel produktion och efterfrågefleksibilitet från industrier på regional/systemnivå att

bidra med balanstjänster, medan det finns olika typer av möjliga lösningar på lokal nivå för att bidra med spänningsreglering.



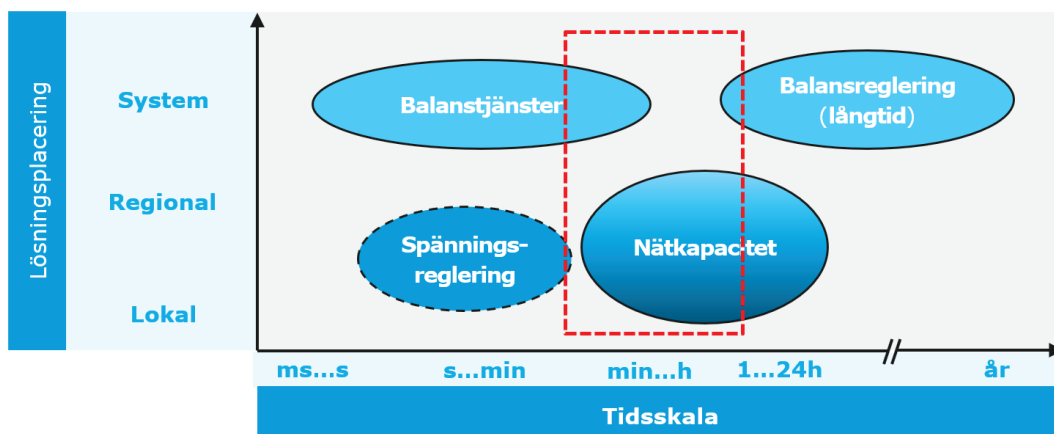
Figur 4 Exempel på lösningar för att tillgodose flexibilitetsbehoven.

Privatkunders möjligheter att bidra med flexibilitet återfinns främst i den streckade rutan i rött som på tidsskalan sträcker sig mellan minuter och timmar.

De lösningar som är planerbara på lång sikt, dygn till år, är till exempel vattenkraften samt de internationella förbindelser som finns.

Notera att tidsskalan inte är exakt och att de möjliga lösningar som listas inte är heltäckande utan syftet är att ge exempel för vilka lösningar som lämpar sig för vilka behov. Exempelvis kan efterfrågefleksibilitet rent teknisk realiserats ner mot sekundnivå och det finns fler lösningar som kan möta behovet på tidshorisonten som sträcker sig mellan minuter och timmar.

Speglas den röda rutan i Figur 4, inom vilken privatkunders möjligheter att bidra med flexibilitet återfinns, mot det behov av flexibilitet som illustreras i Figur 2 blir överlappningen enligt Figur 5.



Figur 5 Möjliga områden för flexibilitetsbehov som privatkunden har möjlighet att bidra med flexibilitet inom.

Speglingen resulterar i störst matchning med behovet av nätkapacitet, men till viss del kan även behoven av balanstjänster och balansreglering mötas med lösningar möjliga för denna tidshorisont och placering.

Fyra aktörer med förutsättningar att bidra till ett flexibelt elsystem kan identifieras. Aktörerna är elnätsföretag, producenter, ägare av energilager och elanvändare. Dessa beskrivs nedan:

- Elnätsföretag
 - Elnätsföretag har i och med nätutbyggnad möjlighet att stå för långsiktiga lösningar i elnätet i form av traditionell förstärkning av nätkapacitet så som utbyggnad av ledningsnät etc.
 - Beroende på spänningsnivå finns det utrymme för elnätsföretagen att på ett riktat sätt kunna bidra med flexibilitet. Exempelvis spänningsreglering och nätoptimering för att minska flaskhalsar.
 - Med tekniska lösningar så som FACTS (flexible AC transmission system), AVR (automatic voltage regulator) etc. kan man utöka flexibiliteten med avseende på spänningsreglering.
 - Utökade möjligheter till mätning och information om verklig status i näten skapar möjligheter för att driva näten än mer optimalt, exempelvis via dynamiska gränser.
- Producenter
 - Flexibel elproduktion hos de konventionella produktionsanläggningarna är idag den främsta källan till balanstjänster. I grunden kommer troligtvis den balanserande produktionen, så som vattenkraft, att ligga och balansera långsiktigt [4]. Ett annat exempel på flexibel produktion är omriktaransluten produktion som är vanlig i elproduktion från förnybara källor. Sådan produktion ger möjlighet att med ofta befintliga medel reglera reaktiv effekt och fungera som virtuell rotationsenergi.
- Ägare av energilager
 - Att flytta producerad energi från en tidpunkt till en annan är en flexibilitetsresurs av stort värde framförallt i avseende på elproduktion från förnybara energikällor.
 - Olika teknologier för energilager lämpar sig för olika behov exempelvis gällande om behovet är att lagra en stor kapacitet under en lång tid, eller om behovet är att agera väldigt snabbt och med hög effekt.
- Elanvändare
 - Efterfrågefleksibilitet är något som både industri, privatkunder och mindre brukare kan bidra med. I kapitel 1.1 beskrivs denna typ av flexibilitet lite mer i detalj.

För att knyta an mot inriktningen på denna rapport, med fokus på privatkunder, kommer sannolikt dessa elanvändare främst kunna bidra med flexibilitet inom kategorin för nätkapacitet. Detta genom att begränsa efterfrågad effekt från elnätet

under tidpunkter med topp effekter. Via aggregatorer finns även möjligheten att bidra till effektbalansen (på kortare tidshorisonter via stödtjänster för balans och för längre via handel på Nord pool).

Det finns olika incitament till varför en aktör väljer att bidra med flexibilitet. Incitamenten är oftast ekonomiska exempelvis arbitrage, eller för att göra en ekonomisk optimering av elnätskostnaden, både för nätkunden själv men också mellan lokal- och regionnät samt region- och transmissionsnät. Incitament att på ett positivt sätt kunna bidra till minskade koldioxidutsläpp eller andra miljöaspekter kan emellertid också motivera.

2 Möjliga källor till flexibilitet hos privatkunder och mindre brukare

Detta kapitel avser beskriva olika typer av laster "bakom mätaren" samt hur de kan erbjuda flexibilitet.

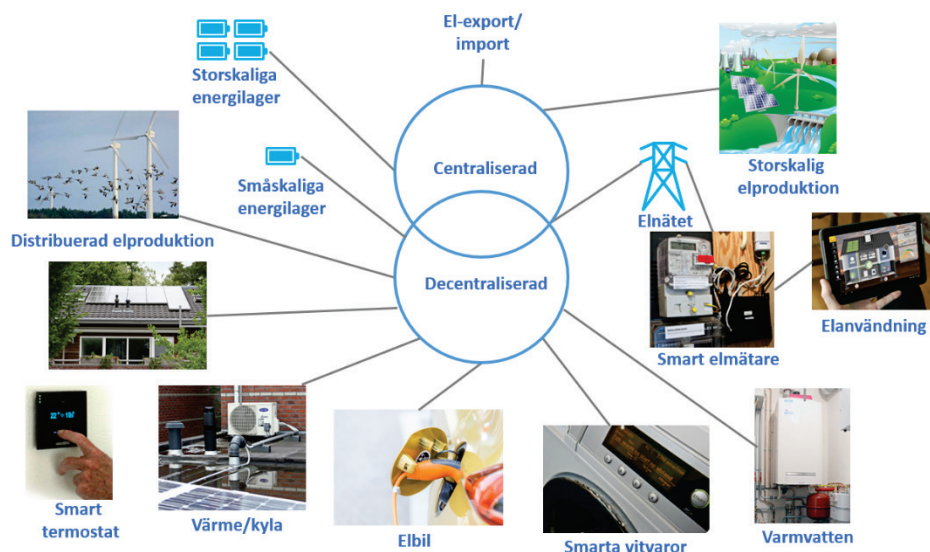
Svenska hushåll har utifrån ett lastperspektiv olika möjligheter att bidra med flexibilitet. Olika gällande potential att bidra med flexibilitet. Exempelvis att en fastighet som värms upp med direktverkande el har större potential gällande uppvärmning jämfört med en fastighet ansluten till fjärrvärmenätet.

De olika typer av laster som privatkunder har möjlighet att styra indirekt är det egentligen bara kundens egen ambition som begränsar. Enkätstudier som har gjorts i Norge mellan åren 2017 till 2020 har visat att om det ekonomiska incitamentet är tillräckligt högt för en privatkund att ta en mer aktiv roll i sin elförbrukning så hade 66,4% av de tillfrågade år 2020 svarat att de skulle vara mer aktiva [9]. Den indirekta styrningen kräver ett engagemang hos kunden som genom rätt typ av incitament kan vara flexibla. Det gäller alltså att incitamenten utformas för att kunden skall vara flexibel de tidpunkter då elnätet behöver det som mest.

Direkt styrning däremot kan ses som en mer bekväm lösning för kunden jämfört med indirekt styrning. Initialt kräver den direkta styrningen någon typ av aktivt val av flexibilitetstjänst samt investering och installation av styrutrustning, men efter den insatsen sköter laststyrningen automatiskt om man kan acceptera att laster i hemmet styrs av en utomstående aktör.

Figur 6 illustrerar de källor till flexibilitet som ur kraftsystemets perspektiv ses som decentraliserad (till exempel hushåll och mindre brukare) och centraliserad (till exempel olika storskaliga energilager).

Den smarta elmätaren kan via sitt kundgränssnitt ge konsumenten information om sin elanvändning i nära på realtid, information som tjänster för laststyrning kan använda.



Figur 6 Decentraliserade och centraliserade källor till flexibilitet ur kraftsystemets perspektiv.

Generellt har hushållen i Sverige likadana typer av last som, om de styrs på rätt sätt, kan användas som källor till flexibilitet. Lasterna kan lämpa sig olika bra för att vara flexibilitetskällor och vissa lämpar sig inte alls med avseende på exempelvis komfort. Bibehållen komfort och enkelhet har visat sig vara viktiga faktorer för att kunden skall vilja bidra med efterfrågefleksibilitet [10].

Exempel på elektriska laster som finns i de flesta hushåll i Sverige och hur väl de lämpar sig för direkt laststyrning (men även för indirekt styrning) presenteras i Tabell 1. Diskmaskin och tvättmaskin är laster lämpade för direkt styrning men har idag oftast inte den styrutrustning som krävs. Potentialen går heller inte att jämföra med till exempel den för en varmvattenberedare vad gäller effekt.

Tabell 1 Typiska laster hos en privatkund och hur de lämpar sig för laststyrning

Typ av last	Lämpar sig för direkt laststyrning
Kyl/Frys	(X)
Diskmaskin/tvättmaskin	(X)
Spis	
TV/Datorer	
Laddningsbar elektronik	
Belysning	
Uppvärmning/kyla	X
Varmvattenberedare	X
Laddstationer för elbilar	X

Utöver exemplen ovan är även egen elproduktion från till exempel sol- och vindenergi en källa till flexibilitet hos privatkunden som illustrerades i Figur 6.

De laster som med bibehållen komfort för kunden har bäst förutsättningar att styras, efter kraftsystemets flexibilitetsbehov gällande nätkapacitet, är de laster med en inbyggd tröghet i sin lastkaraktistik. Exempel på sådana laster är uppvärmning/kyllning av hushållet och varmvattenberedare. Uppvärmning är något som via centrala, väderprognosbaserade tjänster för styrning skulle kunna användas för att kapa effekttoppar på lokal nivå i framtiden. Vidare är laster som går att distribuera över tid så som laddning av elbilar eller disk- och tvättmaskiner bra källor för att sprida det totala effektbehovet över dygnet alla timmar.

Sammanhängande uthållighet för en last att kunna vara bortkopplad men samtidigt inte påverka konsumentens komfort i all för stor utsträckning är ett perspektiv som är viktigt för marknaden att ta hänsyn till. För att ta uppvärmning av en fastighet som exempel kommer uthålligheten bero på byggnadens värmetröghet, vilket kan variera stort beroende på byggnadstyp och konstruktion. Det är ägaren till flexibiliteten, d.v.s. konsumenten i detta fall som bestämmer hur länge en specifik last kan vara bortkopplad utifrån de förutsättningar som fastigheten ger.

Efterfrågeflexibilitet från direkt styrning kan antingen aktiveras baserat på en specifik situation gällande exempelvis pris, lastnivå eller tid, eller genom någon form av extern styrning baserat på kraftsystemets flexibilitetsbehov för given tidpunkt. För direkt styrning är det tjänsten som är kopplad till styrutrustning som kommer styra lasterna i hushållet utifrån de olika incitamenten och behov tjänsten har möjlighet att leverera flexibilitet inom.

2.1 AGGREGERING AV LASTER

Den tillgängliga flexibiliteten från enbart ett hushåll är något som ur kraftsystemets perspektiv inte i sig självt bidrar till att tillgodose de flexibilitetsbehov som finns. För att aktörer som handlar med någon form av flexibilitet på marknaden skall kunna sälja denna krävs det att den effektförändring som flexibiliteten ger upphov till har en minsta storlek. För att till exempel delta i den svenska frekvenshållningsreserven (FCR) är den minsta bud som tillåts 0,1 MW. Detta betyder att laster från flera hushåll i detta fall måste aggregeras för att nå nivån för minsta bud.

I linje med EU-lagstiftningen om Ren energi så skall regelverket för medlemsstaterna utformas för att oberoende aggregatorer skall ges möjlighet att vara aktör på samtliga av elmarknadens delmarknader. En kund skall alltså kunna avtala om energitjänster med en aggregator oberoende av godkännande från kundens elleverantör [11]. DNV GL har på uppdrag av Ei tagit fram en rapport som bedömer effekterna av olika modeller för att möjliggöra oberoende aggregering [12].

3 Lösningar för att realisera flexibilitet

Lösningarna för att realisera efterfrågefleksibilitet hos privatkunder begränsas av olika faktorer. Eftersom implementering av efterfrågefleksibilitet är ett relativt outforskat område är det därför många gråzoner i lagstiftningen som måste utredas. Även regelverk för hur tjänsten skall regleras och hur ansvarsfördelningen mellan olika aktörer skall se ut måste undersökas vidare.

Allteftersom fler och fler företag med tjänster och produkter för smarta hem börjar inse potentialen med denna framtida marknad kan de vara en stor del av lösningen. Samtidigt förs det en parallell diskussion kring riskerna med en marknadsutveckling där elnätsföretagen inte har insyn i de lösningar som föreslås av aktörer utan koppling till elnät och elhandel.

3.1 BEGRÄNSANDE FAKTORER I LAGSTIFTNING OCH REGELVERK

Syftet med detta kapitel är att kortfattat belysa vad dagens lagstiftning och regelverk på området innebär för lösningar till flexibilitet i avseende på laststyrning och aggregering.

Som lagstiftningen ser ut idag skall laststyrning utnyttjas för att ge möjlighet för elanvändare eller tredje part att minska eller lägga om sin förbrukning. Elnätsföretagen får i sin tur enbart bedriva handel eller produktion med el för att täcka förlusterna i det egna elnätet [13]. I Energimarknadsinspektionens (Ei) rapport *Kapacitetsutmaningen i elnäten* [14], som bör läsas i sin helhet, kan man läsa att det enligt elmarknadsdirektivet bestämmelser ställs krav på att elnätsföretagen ska undersöka möjligheterna att använda flexibilitetsresurser som ett alternativ till utbyggnad av nätet.

Elnätsföretagen kommer alltså kunna möjliggöra och utnyttja flexibilitet men inte nödvändigtvis vara de som aktivt utformar eller driver marknaden i framtiden. Ei's bedömning av dagens regelverk kring ägande och drift av marknadsplattformar är [14]:

”En DSO får enligt dagens regelverk äga och driva en marknadsplattform för handel med flexibilitetstjänster. Ei har med utgångspunkt från bestämmelserna i elmarknadsdirektivet lämnat ett förslag i rapporten Ei (R2020:02) som innebär att en DSO inte får bedriva annan verksamhet än nätverksamhet, förutom i vissa undantagsfall. Om förslaget genomförs innebär det ett förbud för en DSO att äga och driva en marknadsplattform.”

Dock kommer elnätsföretagen via de nya marknadsanpassade tariffutformningen med rörliga effekt- och energiavgifter kunna påverka elhandelsföretag och aktörer inom flexibilitet att utforma tjänsterna efter elnätens behov [6].

En relativt övergripande rapport har publicerats av Forum för smarta elnät där förslag på hur roller och ansvar för flexibilitet kan hanteras. Rapporten fokuserar till störst del på elnätsföretagens ansvar och roll där lösningar av flexibilitet hos konsumenten sätts i relation till huruvida lagstiftningen som den ser ut idag tillåter lösningen [13]. I rapporten från Forum för smarta elnät presenteras förslag som är

intressanta att arbeta vidare med i avseende på laststyrning varav två är intressanta för denna rapport.

Det som idag begränsar elnätsföretag att själva ta större plats i utvecklingen av potentiella tekniska lösningar för flexibilitet är att nätkoncessionsområdet endast sträcker sig fram till mätaren. Elnätsföretaget har enligt lagstiftningen därför inte rätt att installera hård/mjukvara innanför uttagspunkten. Detta begränsar elnätsföretagens möjligheter att själva erbjuda flexibla tjänster.

De två flexibilitetsförslagen för laststyrning som är av intresse för denna rapport beskrivs kortfattat i Tabell 2. Det första förslaget innebär dock att hela lasten under en uttagspunkt kopplas bort, vilket för vanliga hushållskunder inte är det vi i rapporten avser med efterfrågefleksibilitet hos hushållskunder.

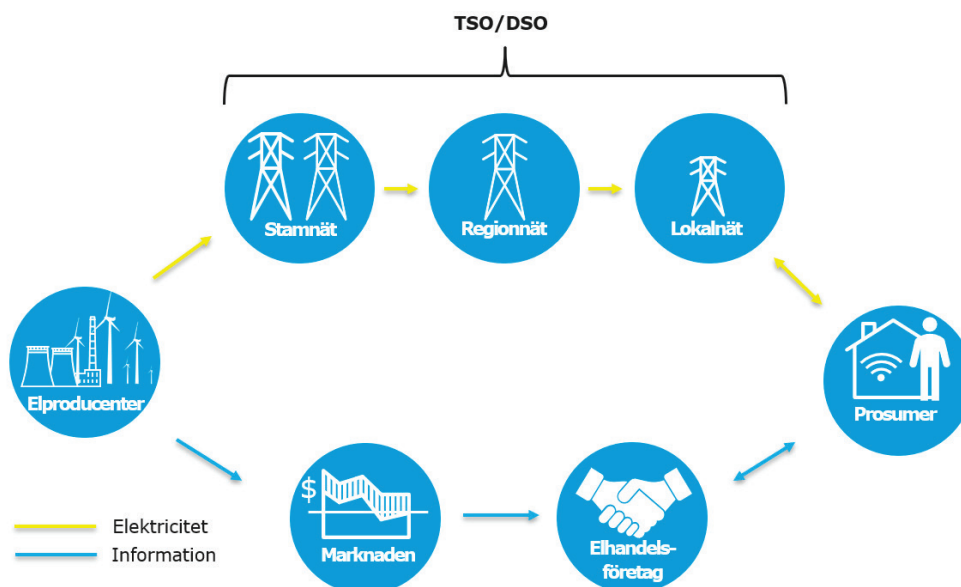
Tabell 2 Möjliga förslag till laststyrning hos konsument för elnätsföretag

Flexibilitetsförslag	Kortfattad beskrivning
Elnätsföretaget får inte installera styrutrustning men styra hos kund i uttagspunkt	Möjlig lösning med gällande lagstiftning om styrningen inte sker innanför kundens mätare. Det vill säga hela eller delar av lasten kopplas bort.
Elnätsföretagen köper tjänster för laststyrning	Möjlig lösning med gällande lagstiftning om elnätsföretaget köper eller upphandlar tjänsten att styra kundens last innanför.

Det är alltså inte nödvändigtvis elnätsföretagen som kommer vara drivande i utvecklingen av flexibla tjänster utan det är andra aktörer på elmarknaden som kommer bära ansvaret. Det bör dock nämnas att flera elnätsföretag idag är inblandade och driver utvecklingen i form av piloter.

3.2 AKTÖRER PÅ DEN SVENSKA ELMARKNADEN

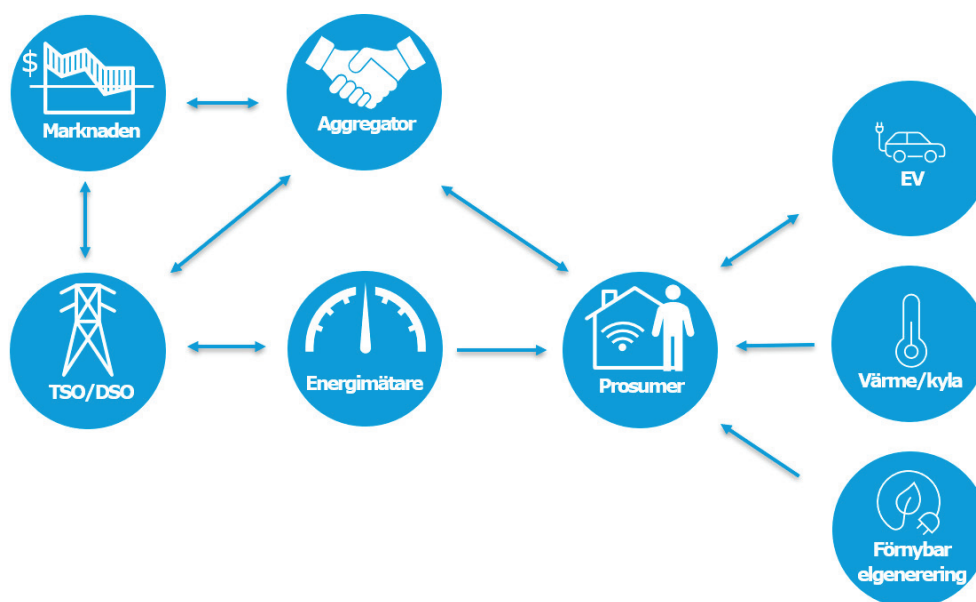
De aktörer på den svenska elmarknaden som möjliggör elleveransen till slutkund, samt de administrativa tjänster som leveransen medför beskrivs i Figur 7. Leveransen av elektriciteten från producenterna till slutkund sker via våra stam-, region- och lokalnät. Elnätsföretagen tar idag ut en nätavgift av slutkunden för att täcka kostnaderna för själva elleveransen. De så kallade administrativa tjänsterna där bland annat själva elhandeln inkluderas sköts i stor utsträckning av elhandelsföretagen som även har kundkontakten.



Figur 7 Aktörer på den svenska elmarknaden som möjliggör elleveransen

För att möta de framtida utmaningarna där befintliga resurser i form av flexibilitet måste börja utnyttjas i större utsträckning är det troligt att även handel med flexibilitet kommer behöva realiseras. Idag finns det redan pilotprojekt som utvärderar marknadsplattformar för denna typ av handel och detta beskrivs mer i kapitel 3.5.

Figur 8 visar en översiktlig bild på hur en privatkunds flexibilitet kan integreras i den svenska elmarknaden i avseende på direkt laststyrning. Energimätaren ses i framtidens smarta elnät som en central del där tjänster för flexibilitet kan ta del av realtidsdata från mätaren.



Figur 8 Översikt av de delar av den svenska elmarknaden som möjliggör flexibilitet via direkt laststyrning.

Begreppet prosumer som används i Figur 8 är en benämning av privatkonsumenten och beskriver en aktör som kan producera elektricitet för eget behov samtidigt som den kan konsumeras av andra.

Prosumern är den aktör som utgör själva flexibilitetsresursen. Flexibiliteten består i sin tur av de styrbara laster som kunden har samt den eventuella egna produktion som finns tillgänglig. Flexibiliteten som resurs kan på signal aktiveras hos prosumern utifrån de olika flexibilitetsbehov som uppstår i kraftsystemet. Exempel på sådana behov beskrivs i kapitel 1.2.

Aggregatorn kan ses som den aktör som tar emot flexibiliteten och säljer denna vidare på elmarknaden eller motsvarande dedikerad marknad för flexibilitet. Marknaden, vilket egentligen kan vara olika marknader för olika behov, kommer vara den plats där TSOer, DSOer eller balansansvariga lägger bud på den flexibilitet som måste köpas in för att tillgodose de behov som behöver lösas. Behoven kan till exempel vara i form av balanstjänst eller för nätkapacitet för att kapa effekttoppar under höglasterperioder. Köparna kommer på så vis vara den aktör som utnyttjar redan befintlig flexibilitet i elnätet men kommer också vara den aktör som kan trigga flexibilitet utefter behov och detta genom att buda in den från till exempel aggregatorer.

3.3 AKTIVERING AV EFTERFRÅGEFLEXIBILITET

För att flexibilitet som resurs skall kunna tillgodose kraftsystemets olika flexibilitetsbehov krävs det att den kan aktiveras vid de tillfällen då den behövs. Aktiveringen av efterfrågefleksibilitet för direkt laststyrning hos privatkunder kan delas upp i två delar:

1. Vilka behov som triggar aktiveringen.
2. Hur aktiveringen rent tekniskt går till när den väl är triggad.

De behov som Figur 5 i kapitel 1.3 illustrerar är exempel på behov som kan användas för att trigga en aktivering av flexibilitet. Transmissionsnätsägaren kan behöva utnyttja flexibiliteten hos privatkunden som en balanstjänst för frekvensreserven. Distributionsnätsägarna kan på region- och lokalnät nivå behöva använda flexibiliteten för att kapa effekttoppar under höglastperioder. Beroende på vilket behov flexibiliteten kan utnyttjas till, eller vilken aktör som triggar aktiveringen, så kommer tjänsterna för att tillgodose behovet utvecklas för att styra bäst lämpad last hos kunden.

3.4 RAMVERK

Ju mer digitaliserat ett system blir, desto viktigare blir det att utrustning och aktörer som ingår i systemet på ett harmoniserat sätt kan kommunicera med varandra. Standarder har därför en väsentlig och central roll för att bygga vidare på vid innovation.

I avseende på systemet som helhet måste ramverk finnas på plats för att definiera roller, ansvar och processer.

Ett antal institut har haft uppdraget att ta fram ett ramverk för arkitekturen kring smarta elnät, vilket resulterade i Smart Grid Architecture Model (SGAM) vilken beskrivs i 3.4.1.

Ett annat ramverk som utvecklades för att möjliggöra kommodifiering och handel med flexibilitet med målet att accelerera utvecklingen av ett integrerat smart elsystem är Universal Smart Energy Framework (USEF) som beskrivs i 3.4.2. USEF beskriver roller och ansvar och processer som måste finnas på plats för att få flexibilitetsmarknaden att fungera.

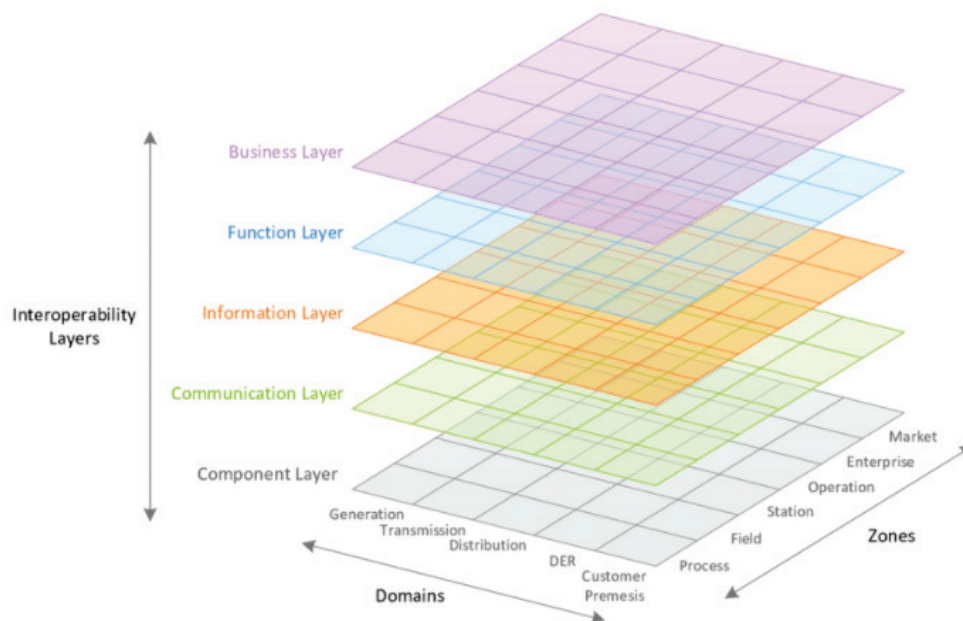
3.4.1 SGAM (Smart Grid Architecture Model)

SGAM är ett ramverk för att specificera användarfall i avseende till en enhetlig beskrivning av referensarkitektur i smarta elnät. Aspekter som transmission, distribution, IT eller kommunikation kan till exempel stå i fokus.

Ett systems referensarkitektur specificerar vilken struktur som används i det system som beskrivs, vilka typer av element som ingår, hur de är strukturerade samt hur de interagerar med varandra [15].

Smart Grid Architecture Model (SGAM) är idag utbrett i sammanhang kring smarta elnät och beskrivs i detalj i en teknisk rapport av IEC [16].

Figur 9 illustrerar SGAMs tredimensionella ramverk som kan användas för att modellera interaktioner som till exempel informationsutbyte mellan de olika aktörerna inom området för smarta elnät.



Figur 9 SGAM's tredimensionella referensarkitektur. (Illustration från IEC TR 62357-1)

”Domains-axeln” beskriver energikedjan från generering till elanvändare.

”Zones-axeln” illustrerar de fysikaliska och operativa aspekterna hos energisystemet.

” Interoperability Layers-axeln” innehåller interoperabilitetslagren, vilka specificerar till exempel hur affärsområden och tekniska områden kan utformas. Dessa lager beskrivs översiktligt nedan:

Det första lagret är rent affärsrelaterat.

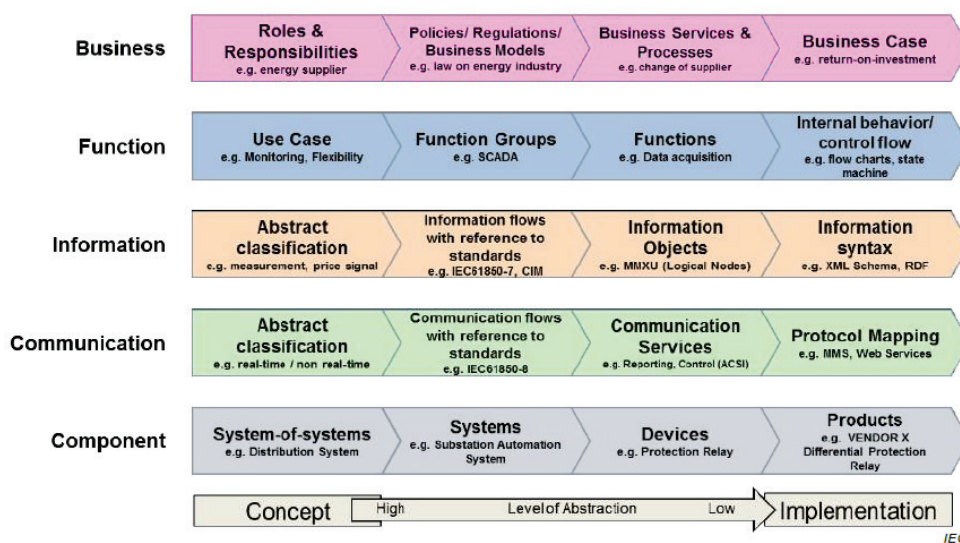
- **Affärslagret:** Detta lager representerar affärsaspekter på informationsutbytet i ett smart elnät. Det beskriver hur affärsmodeller och portfolios från inblandade marknadsaktörer mappas. Affärslagret representerar även regelverk, roller och ansvarsområden.

De fyra undre lagren specificerar hur de tekniska perspektivet av SGAM utformas.

- **Funktionslagret:** Detta lager beskriver bland annat funktioner och tjänster för affärsrelaterade behov. Funktionerna representeras oberoende av hur de fysiskt implementeras i system eller utrustning. Själva implementeringen beskrivs av komponentlagret.
- **Informationslagret:** Detta lager beskriver den information som används och kommuniceras mellan funktioner. Detta inkluderar information om objekt och de underliggande kanoniska datamodeller (kanoniska modeller används för att kommunicera data mellan olika dataformat.) Dessa objekt och kanoniska datamodeller beskriver den nödvändiga semantiken för att möjliggöra ett interoperabelt informationsutbyte.

- **Kommunikationslagret:** Detta lager beskriver mekanismer och protokoll för interoperabel kommunikation av information mellan funktioner
- **Komponentlagret:** Detta lager visar hur de fysiska komponenterna är distribuerade i ett system. Detta inkluderar utrustning i kraftsystemet, skydd och telekommunikationsutrustning, nätverksinfrastruktur etc.

Figur 10 illustrerar olika abstraktionsnivå (koncept till implementation) av något exempelområde inom varje interoperabilitetslager.

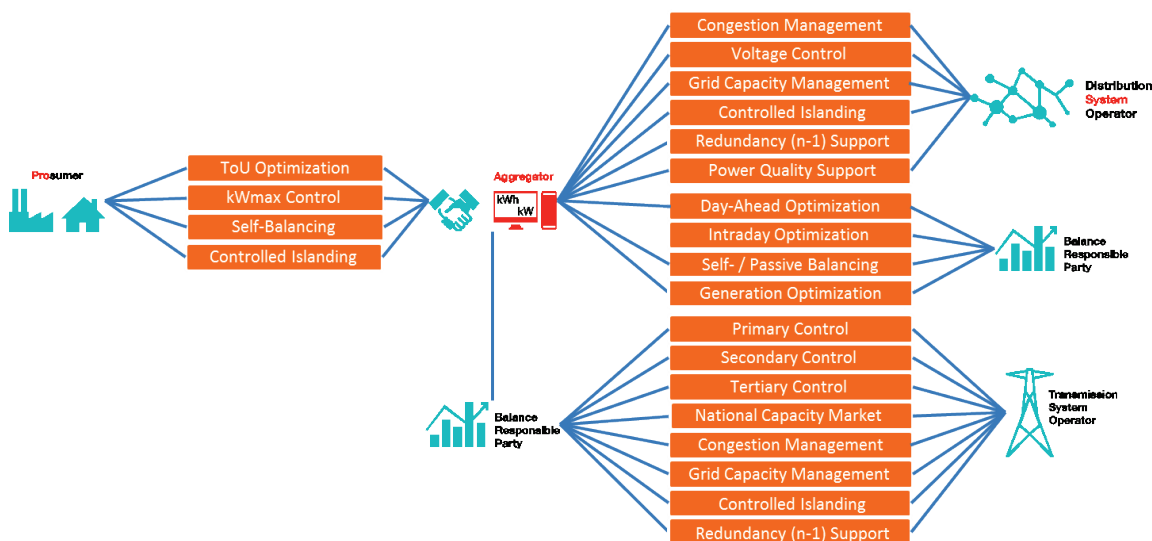


Figur 10 Illustrering av olika abstraktionsnivåer inom SGAM's olika interoperabilitetslager (Illustration från IEC TR 62357-1)

3.4.2 USEF (Universal Smart Energy Framework)

USEF grundades av sju aktörer inom branschen för smarta elnät [17]. Målet är att accelerera utvecklingen av ett integrerat smart elsystem som gagnar alla intressenter, från elnätsföretag till konsumenter. Ramverket utvecklades för att möjliggöra kommodifiering och handel med flexibilitet. USEF beskriver roller, både nya och gamla men även arkitekturen runt marknadsmodellen, verktyg samt regler för en fungerande marknad.

Den flexibilitet som finns tillgänglig hos samtliga konsumenter av elektrisk energi måste aggregeras till en sådan storleksordning att den kan användas för att lösa kraftsystemets behov. Storleksordningen som refereras till kan till exempel vara i form av effekt där storleken är bestämd av minsta budstorlek på olika marknadsplattformer. Hur man skall kunna åstadkomma en sådan lösning med tydliga ramverk att förhålla sig till är något som USEF arbetar med.



Figur 11 USEF adresserar till exempel affärsprocesser mellan parter och mätning/reglering av faktisk energiförbrukning/produktion. (Illustration från USEF)

Figur 11 illustrerar ramverket som USEF utgör vilket tillhandahåller fallbeskrivningar för rollerna i ramverket och de processer och interaktioner som behövs för att skapa en fungerande flexibilitetsmarknad. Grunden ligger i att sätta ett värde på flexibilitet och optimera därefter [17].

3.5 MARKNADSPLATTFORMAR

Marknadsplattformar utvecklas utifrån de behov som finns. Idag finns det flertalet marknadsplatser för olika ändamål som till exempel Nord Pool för elhandel eller olika typer av frekvensmarknader. För att delta på dessa marknader krävs det idag att man är balansansvarig eller har avtal med balansansvarig.

Marknadsplattformar för att handla med flexibilitet är under utveckling och är idag delar av olika pilotprojekt. Till exempel används marknadsplattformen NODES i pilotprojektet SthlmFlex.

Utöver den redan etablerade marknaden Nord Pool för elhandel är även marknadsplattformar för flexibilitet så som NODES och Switch beskrivna nedan.

3.5.1 Nord Pool

Nord Pool är den nordiska elmarknaden med medlemsländerna Danmark, Estland, Finland, Norge och Sverige.

Nord Pool tillhandahåller marknadsplatser inom Spotmarknad (day-ahead market), Elbas (intra-day market) och Terminalsmarknad (produkter för prissäkring över tid).

På Nord Pool kan elhandlare med eget eller avtalat balansansvar handla.

3.5.2 Reservmarknader

Svenska kraftnät har i uppdrag att hålla frekvensen i nätet inom angivna nivåer. Till sin hjälp har de ett antal stödtjänster för att säkerställa att det finns tillräckligt med resurser för att öka eller minska effekten och på så sätt säkerställa att balans mellan produktion och konsumtion råder vid alla tidpunkter. Stödtjänster kan exempelvis tillhandahållas av produktionsanläggningar, anläggningar som kan anpassa sin elförbrukning eller energilager.

Kraven för att delta på dessa marknader sätts av Svenska kraftnät och skiljer sig gällande exempelvis aktiveringstid, minsta bud och kapacitet. Information finns att hitta via Svenska kraftnäts hemsida [18].

Några viktiga storheter sammanställs i Tabell 3 för följande stödtjänster:

FFR (snabb frekvensreserv), FCR-N (frekvenshållningsreserv för normal drift), FCR-D (frekvenshållningsreserv för störd drift), aFRR (automatisk frekvensåterställningsreserv) och mFRR (manuell frekvensåterställningsreserv)

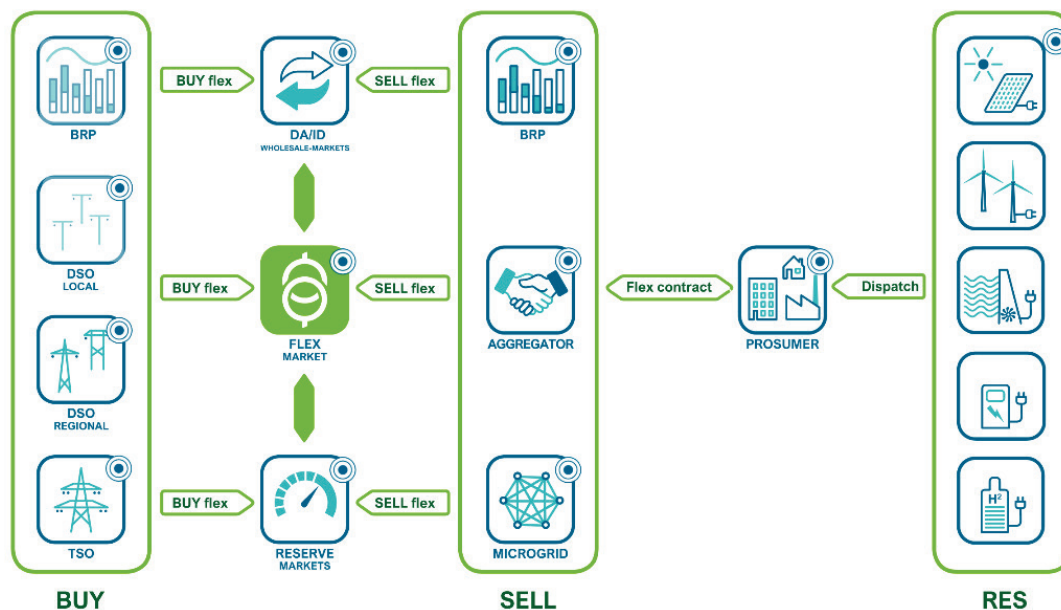
Tabell 3 Översiktlig sammanställning över olika stödtjänster för balanshantering

Stödtjänst	FFR	FCR-N	FCR-D	aFRR	mFRR
Triggas av	Frekvens	Frekvens	Frekvens	Automatisk signal från central styrning	Kontrollrum
Aktiveras inom	0,7 – 1,3 s beroende på aktiveringsnivå	63 % inom 1 min; 100% inom 3 min	50 % inom 5 s; 100% inom 30 s	2 min	12-15 min
Minsta bud	0.1 MW	0.1 MW	0.1 MW	5 MW	5/10 MW
Kapacitets krav	Varaktighet minst 5 eller 30 s	Ca 200 MW	Ca 400 MW	Ca 150 MW	(marknads behov)

3.5.3 NODES

NODES är en oberoende marknadsplats för hållbar energi där elnätsföretag, producenter och konsumenter av energi kan handla med decentraliserad flexibilitet och energi.

Idag är NODES en marknadsplats som fungerar enligt principerna i Figur 12 där NODES utgör själva flexibilitetsmarknaden.



Figur 12 Princip över NODES funktion på flexibilitetsmarknaden. (Illustration från NODES flexibility market concepts)

NODES är resultatet av ett pilotprojekt som startade 2016 i Norge, Engene Substation. Piloten utvecklades för att hitta lösningar som möjliggör användandet av efterfrågefleksibilitet för att skjuta ekonomiska investeringar i elnätet på framtiden och möjliggöra handel med flexibilitet.

Efter mycket framgångar och lovande resultat har NODES blivit mer och mer etablerad som marknadsplattform på energimarknaden. Idag stödjer NODES flertalet projekt i Norge, Sverige, Tyskland och Storbritannien och undersöker olika flexibilitetsprodukter inriktade på både DSOer och TSOer.

3.5.4 Switch

Switch är ett projekt drivet av E.ON som tar fram en digital marknadsplats för flexibilitet. Projektet sker i samarbete med CoordiNet där även Vattenfall och Svenska kraftnät är delaktiga.

Målet med plattformen är att undvika kapacitetsbrist genom att optimera användandet av elnätet. Medverkande flexibilitetsleverantörer kan på plattformen sälja sina tjänster i form av flexibilitet [19].

3.6 AKTÖRER MED MARKNADSLÖSNINGAR FÖR EFTERFRÅGEFLEXIBILITET

Idag finns det redan ett antal aktörer på den svenska marknaden som har möjlighet att tillhandahålla tjänster för efterfrågefleksibilitet för privatkunder. Några exempel på sådana aktörer relevanta för efterfrågefleksibilitet för privatkunder eller mindre brukare presenteras i Tabell 4. Notera att de exempel på aktörer som ges i denna rapport kommer från en ögonblicksbild av hur marknaden ser ut när denna rapport publicerades. Exempelen beskriver inte heller marknaden som helhet.

Internationellt finns fler aktörer. I Europa är efterfrågefleksibilitet för privatkunder eller mindre brukare främst aktuellt i pilotprojekt. Kommersiella lösningar finns exempelvis i Texas där stora prisvariationer gör det lönsamt för elhandlare att styra utrustning [20].

Av dessa aktörer är det enbart Tibber som idag kan handla med aggregerad flexibilitet på dedikerade marknader. Då den aggregerade flexibilitetsresursen inte är knuten till en fysisk inmatnings- eller uttagspunkt i elnätet har fiktiva reglerobjekt skapats för att möjliggöra deras medverkan.

Underrubrikerna som följer nedan beskriver i sin tur dessa aktörer lite mer i detalj. Notera att tabellen inte är heltäckande utan det finns även andra företag som tillhandahåller motsvarande tjänster.

Tabell 4 Exempel på befintliga aktörer som kan tillhandahålla tjänster för efterfrågefleksibilitet.

Aktör	Typ av aktör	Tjänster inom
Tibber	Elhandelsföretag och aggregator	Direkt styrning
Ngenic	Tredjepart	Direkt styrning
Power2U	Tredjepart	Direkt styrning
Apple och Google	Tredjepart	Indirekt styrning

3.6.1 Tibber

Tibber är ett elhandelsföretag som kan erbjuda flertalet tjänster för den privatkund som vill vara mer aktiv i sitt elanvändande. De riktar in sig på grön el med ursprungsgarantier från svensk vattenkraft och vindkraft samt solceller från privata hem. Informationen i detta kapitel kommer från en intervju med Tibbers CFO, Jakob Jönsson som hölls den 28 september 2020 [21].

De tjänster för efterfrågefleksibilitet som de för närvarande förmedlar är spotprisoptimering för elbilsladdning samt att de är prekvalificerade till Svenska kraftnäts frekvensreservmarknad FCR. Utöver detta förmedlar de även tjänster för smart uppvärmning av hushåll.

Under intervjun diskuterades ett antal områden med specifika frågor om deras verksamhet och hur de ser på framtiden, vilket sammanfattas nedan.

Tekniskt

- På frågan om vilken roll hushållets smarta energimätare har för deras tjänster var svaret att den idag inte behöver användas. De använder mätning integrerad i elbilsladdarna (undermätning till energimätaren) och inga krav finns att utnyttja den smarta energimätaren i

anslutningspunkten, inte ens för valideringssyfte. Svenska kraftnät ställer krav på att det skall finnas historik av mätuppgifter två veckor tillbaka i tiden men dessa kan komma från undermätning. Det kan inte uteslutas att elmätaren i framtiden kommer användas för validering.

- På frågan om svarstider, som är viktig i avseendet på till exempel aktiveringstid på reglerkraftsmarknaden har deras tjänst en svarstid på mindre än 2 sekunder generellt, sett till varje elbilsladdare. Det som tar tid är kommunikationen från deras plattform till laddaren.
- På frågan om hur de jobbar med IT-säkerhet så är man som balansansvarig skyldig att följa NIS-direktivet som ställer krav på säkerhet i nätverk och informationssystem. I avseende på tjänsten för FCR så är den största risken att frekvensmätningen blir manipulerad. Därför har man till exempel två mätare som validerar varandra.

Marknaden

- Bidraget till frekvensreserven som Tibber förfogar över är de kunder som har elbilsladdare anslutna till deras tjänst. Utifrån statistik på laddningsmönster och realtidsuppdateringar av antalet anslutna elbilar så budar Tibber aggregerad tillgänglighet till frekvensreservmarknaden klockan 20:00 till dagen efter (00:00) då den skall finnas tillgänglig.
- För företag som Tibber som levererar flexibilitet utifrån den tid som den kan göras tillgänglig är marknadsupplösning i avseende på tid väldigt viktig. Marknadsfönster man skall leverera flexibilitet inom måste vara så pass smalt att man kan garantera leverans under den tid man säger sig ha den tillgänglig. Av den anledningen är timupplösta marknader att önska men 15 minuters nivå vore ännu bättre.

Utvecklingsområden

- En del av problematik med flexibilitet är att man måste veta var i nätet flexibiliteten finns. Detta är något som är viktigt eftersom det ofta är på lokal nivå flexibilitet kan bidra med till exempel att kapa effekttoppar. Detta är något som NODES jobbar med.
- I framtiden kommer det krävas riktlinjer kring hur man skall reglera flexibilitet mot utebliven eller leverans. En lösning för detta är på plats i till exempel Nederländerna och sköts genom balansansvarsrollen.

3.6.2 Ngenic

Ngenic är ett företag som erbjuder bland annat produkter och tjänster för att reglera uppvärmningen av fastigheter med hjälp av smarta termostater. Tjänsten optimerar värmesystemet utifrån kundens behov. Om elavtalet för fastigheten är med timpris optimerar Ngenic även uppvärmningen efter elpriset.

Ngenic är ett av de företag som Tibber samarbetar med i sina tjänster för smart uppvärmning av hushåll.

3.6.3 Power2U

Power2U erbjuder fastighetsägare energilösningar för att bland annat få kontroll över sina energitillgångar, optimera värmesystem och reducera effekttoppar med hjälp av fastighetens egna energitillgångar.

3.6.4 Apple och Google

Tjänster som Apple HomeKit och Google Home erbjuder användarna att via sina smarta telefoner konfigurera, kommunicera och styra smarta hushållsapparater. Idag är tusentals produkter kompatibla med tjänsterna, däribland TV-apparater, lås, lampor eller termostater.

3.6.5 Ett exempel på tidiga användare

För att belysa hur idag befintlig utrustning och befintliga tjänster för att realisera efterfrågefleksibilitet fungerar i verkligheten har en intervju med Mikael Östman gjorts [22]. Mikael bor i Västerås och jobbar inom elkraftsbranschen. Han har ett stort intresse för teknik och förnybar energi vilket är anledningen till att han fick upp ögonen för Tibber vid byte av elabonnemang. Tjänsterna som Tibber kan erbjuda såg han som ett kul incitament för att byta. Idag använder han sig av Tibbers tjänster för elbilsladdning och värmestyrning.

Tibbers digitala tjänster medför bland annat analyser om förbrukning, dag för dag eller timme för timme.

Elbilsladdning

Som ägare av en elbil anser Mikael att tjänsterna kring laddningen och möjligheten att kunna vara en del av frekvensreserven var väldigt spännande eftersom han vill ha en aktiv roll i energiomställningen.

Han påtar att elbilsladdningen idag marknadsförs som smartladdning. Tjänsten optimerar på elpris och är med i frekvensreserven. Att just frekvensregleringen är en del av tjänsten för smartladdning är inget som tydligt framgår. Mer information om detta hade kanske intresserat fler menar Mikael.

Det arbete som krävdes för att få elbilsladdaren att fungera mot Tibbers digitala plattform var minimalt, men att själva elinstallationen av laddaren skall vara fackmannamässigt gjort är inte att glömma.

Värmestyrning

Mikael har även valt att installera styrutrustning för uppvärmningen av sitt hushåll. Tibber stödjer ett antal tillverkare av styrutrustning och Mikael valde Ngenic då han ansåg att de hade bäst kompatibilitet och lättlästa manualer.

Systemet som han installerade själv är tredelat med en givare, en gateway och en styr- och reglerbox. Installationen av hårdvara krävde lite handpåläggning men själva uppkopplingen till den digitala tjänsten var problemfri.

Det som lockade att investera i styrutrustningen för uppvärmning var att få ett jämnare inomhusklimat. Samtidigt var möjligheten att kunna bidra med denna typ av flexibilitetstjänst spännande fast den idag enbart optimerar på elpris.

Att man idag inte sparar stora summor pengar på att erbjuda sin flexibilitet är något Mikael poängterar, utan för honom handlar det om det personliga intresset.

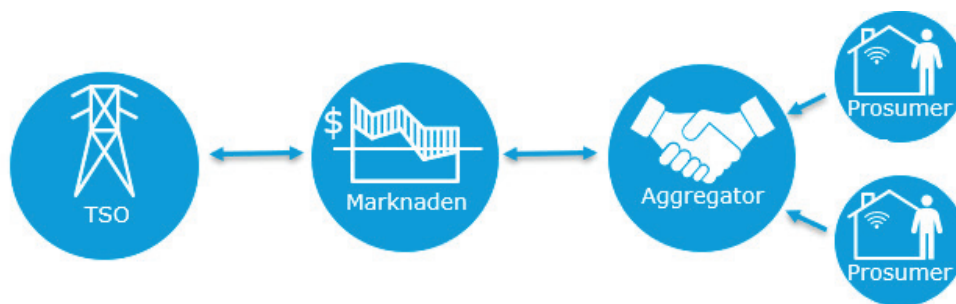
3.7 SAMMANFATTNING

De lösningar som vi anser efterfrågefleksibilitet från privatkunder kommer kunna användas som resurs till kraftsystemets flexibilitetsbehov är:

- Effektbalans (på transmissionsnätetsnivå)
 - Balansreglering (Långsiktiga, timmar)
 - Balanstjänster (Kortsiktiga, sekunder – minuter)
- Kapa effekttoppar via flexibilitetsmarknad (möta behovet av nätkapacitet)
- Kapa effekttoppar via bilaterala avtal (möta behovet av nätkapacitet)

Idag finns redan fungerande marknader för både handel med el (Nord pool) och balanstjänster (dessa stödtjänster beskrivs översiktligt under kapitel 3.5.2) vilket är illustrerat i Figur 13. Hur marknaden förväntas lösa de övriga två är illustrerat i Figur 14 och Figur 15 nedan.

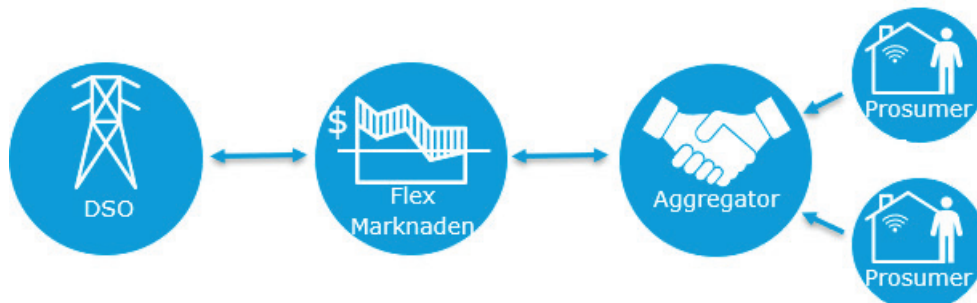
Figur 13 illustrerar hur balanstjänster förmedlas. Aggregatorn kommer göra en prognos för dagen efter; hur mycket energi de kommer behöva och hur mycket energi som förväntas finnas tillgänglig. TSO'n triggat behovet av till exempel frekvensreserven och aktiverar aggregerad flexibilitet genom att buda in tillgänglig flexibilitet från frekvensmarknaden för att täcka det behov som finns i nätet.



Figur 13 Marknadens lösning på att göra efterfrågefleksibilitet till en resurs för balanstjänster på transmissionsnätetsnivå

Figur 14 illustrerar hur flexibilitet förmedlas för att kapa effekttoppar i nätet. Aggregatorn kommer göra en prognos för dagen efter över hur mycket energi som de kan garantera finns tillgänglig. Tillgänglig energi erbjuds i sin tur på flexibilitetsmarknaden. DSO'n noterar eventuella behov av flexibilitet och aktiverar aggregerad flexibilitet genom att köpa den på dedikerad marknad.

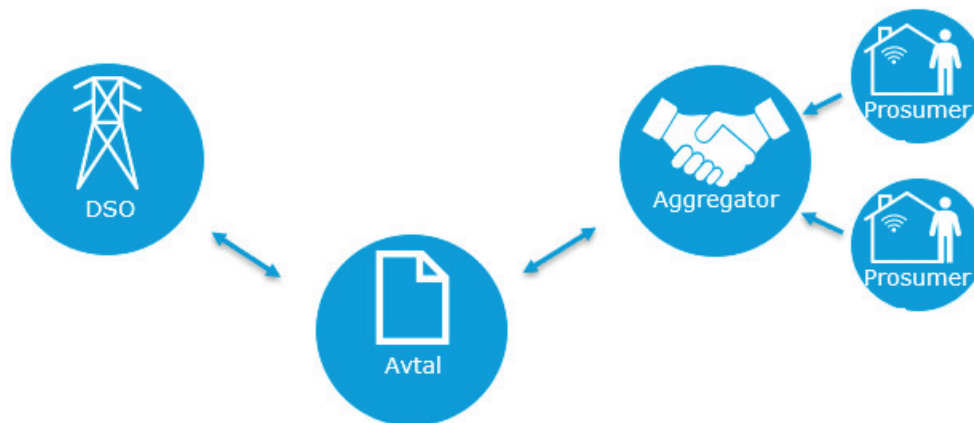
Signalen som utlöser förändringen av uttagen effekt skickas av aggregatorn vid angiven tidpunkt för behovet.



Figur 14 Marknadens förväntade lösning på att göra efterfrågefleksibilitet till en resurs för att kapa effekttoppar på distributionätsnivå.

Figur 15 illustrerar hur flexibilitet förmedlas för att kapa effekttoppar på lokal nivå i nätet inom ett specifikt problemområde. I detta fall har DSO'n ett avtal med exempelvis en aggregator som vid behov skickar en signal för att utlösa ändring av effektuttag i problemområdet. Behovet som DSO'n kan till exempel vara överlast som indikerats av en elkvalitetsmätare ute i lokalnätet.

DSO'n aktiverar aggregerad flexibilitet som finns tillgänglig i problemområdet för att täcka det behov som finns i nätet.



Figur 15 Marknadens förväntade lösning på att göra efterfrågefleksibilitet till en resurs för att kapa effekttoppar på lokal distributionätsnivå.

4 Pilotprojekt

Det finns flera projekt och piloter både nationellt och internationellt som studerar hur flexibilitet på bästa sätt kan nyttjas. Detaljerad information över vilka praktiska lösningar som används i dessa piloter är begränsad, men nedan beskrivs några piloter översiktligt ur referenssyfte.

4.1 COORDINET

CoordiNet är ett EU-projekt med flertalet företag/organisationer inblandade från olika länder. Projektet bedrivs mellan åren 2019–2020 och omfattar demonstrationsprojekt i tre länder. I Sverige drivs arbetet främst av E.ON, Vattenfall och Svenska kraftnät där planen är att bygga fyra stycken lokala marknadsplatser för flexibilitet i norra Sverige, Uppland, Gotland och Skåne [23].

Uppgiften är att ta fram produkter för köp av flexibilitetstjänster för olika nätbehov där produkten definierar kraven för att delta på en specifik marknad.

En marknadsplattform för effektflexibilitet som nyttjas i CoordiNet är Switch (beskrivs i kapitel 3.5.4).

Målet på Europeanivå är att demonstrera hur TSOer och DSOer skall koordinera sig och använda samma produkter för att skapa tjänster som säkerställer en tillförlitlig och effektiv drift av elnätet [24].

4.2 STHLMFLEX

SthlmFlex är ett projekt som drivs av Svenska kraftnät, Ellevio och Vattenfall eldistribution och befinner sig i ett forsknings- och testskede. Syftet med projektet är att skapa och pröva en flexibilitetsmarknad i Storstockholm för att hantera nätkapacitetsproblem (flaskhalsar) mellan Vattenfall och Ellevios regionnät i Stockholm gentemot transmissionsnätet.

Förenklat innebär projektet att låta elanvändare och elproducenter som är kopplade till elnätet vara en aktiv del för att motverka att kapacitetsbrist uppstår i elnäten. Elanvändare deltar genom att helt avstå eller minska sin elförbrukning medan elproducenter startar eller reglerar sin elproduktion.

Marknadsplattformen för effektflexibilitet i SthlmFlex är tillhandahållen av NODES (beskrivs i kapitel 3.5.3). Denna marknad kompletterar och koordinerar med övriga marknader så som spotmarknad och balansmarknader [25].

Testet med SthlmFlex startade den 1 december 2020 och kommer pågå fram till sista mars 2021.

4.3 SIMRIS

Simris är en tätort i Simrishamns kommun i östra Skåne där E.ON skapat Sveriges första lokala energisystem. Syftet är att under en testperiod göra byn självförsörjande på förnybar och lokalproducerad el var femte vecka.

För att realisera detta under tidpunkter då den lokala elproduktionen inte räcker finns bland annat batterilager men det är de anslutna kundernas styrbara laster som gör projektet möjligt. Kunderna behöver ha en styrbar anläggning där värmepump, solceller med batterier eller varmvattenberedare kan styras [26].

Styrutrustning som använts är bland annat Ngenic för värmepumpar och Bobbie för varmvattenberedare.

4.4 POWER MATCHING CITY

Power matching city är ett pilotprojekt för smarta elnät.

Första fasen av projektet inleddes 2007 och innebar en integrerad lösning för smarta elnät där 25 hushåll i staden Groningen i Nederländerna deltog. Hushållen som bland annat var utrustade med smarta vitvaror, elbilar och smarta elmätare utgjorde grunden i projektet.

Andra fasen i projektet fokuserade på att utveckla affärsmodeller för nya tjänster inom efterfrågefleksibilitet och prissättning.

Målet med de två faserna var att utveckla infrastrukturen, informationssystemen och affärsmodellerna för att få till en skalbar lösning som kan användas i större sammanhang [27].

4.5 NORSKA PILOTER

Exempel på ett antal piloter som har bedrivits i Norge ges nedan:

- Statnett; Fast Frequency Reserves 2018 – pilot for raske frekvensreserver
 - Pilotprojekt för att undersöka tillgänglighet av produkter, utmaningar och möjligheter relaterade till tekniska- och marknadsaspekter för FFR.
- Statnett; eflex
 - Pilotprojekt som skall stimulera mer tillgänglig flexibilitet i reglerkraftsområdet på Østlandet i Norge.
- Energimarked 2.0
 - Pilotprojektet Energimarked 2.0 demonstrerar lösning till att dagens energimarknad inte är förberedd för spårbara, digitala transaktioner som möjliggör tvåvägs elhandel.

Tanken är att etablera en helt digital energimarknad som fungerar parallellt med de existerande, där hushåll kan köpa el direkt från producenten och sälja tillbaka kapacitet som kan användas som flexibilitet.

5 Krav, standarder och interoperabilitet

För att underlätta att fler aktörer kan bidra med lösningar för efterfrågefleksibilitet behövs tillräckligt öppna lösningar (exempelvis marknadsplatser) som bygger på väl definierade processer. Processerna måste vara automatiserade vilket ställer krav på digitalisering. Digitaliseringen ger utrymme för att mer information kan processas samtidigt vilket ställer krav på standardisering. Fler aktörer på en standardiserad marknaden medför en storskalighet med ökad konkurrens och tillgänglighet som resulterar i bättre pris och produkter för konsumenten.

Att detaljerat beskriva de olika standarder som är relevanta för denna rapport är svårt eftersom de är väldigt omfattande men en kortfattad översikt av de standarder vi anser vara mest relevanta är sammanfattade i kapitel 5.2.

Informationssystemets uppbyggnad förklaras i kapitel 5.3. Utöver standarder bidrar även ramverk så som SGAM, beskrivet i kapitel 3.4 och USEF, beskrivet i kapitel 3.4.2, till att standardisera kommunikationsgränssnitten mellan aktörer. CIM-standarderna som är definierade i SGAM och som bedöms vara väldigt viktiga i framtiden beskrivs i kapitel 5.3.2.

Exempel på lösningar för kommunikationen mellan de aktörer som tidigare omnämns vara involverade i hur en privatkunds flexibilitet kan integreras i den svenska elmarknaden i avseende på direkt laststyrning och illustrerats i Figur 8, beskrivs översiktligt i avsnitt 5.4 och till sist diskuteras även den smarta energimätaren i kapitel 5.5.

5.1 ENERGIMARKNADSINSPEKTIONENS BEDÖMNING AV STANDARDISERING

I dagsläget verkar det i Sverige inte finnas tillräckligt starka incitament från exempelvis elnätsföretag att de lösningar som tas fram för efterfrågefleksibilitet skall bygga på befintliga standarder utan proprietära lösningar är inte helt ovanligt exempelvis i piloter.

I avseende på att standardisera flexibilitetstjänster har Ei gjort följande bedömning [14]:

”TSO och DSO ska enligt elmarknadsdirektivet tillsammans med berörda systemanvändare inleda ett samarbete för att fastställa specifikationer för de flexibilitetstjänster som upphandlas och om lämpligt standardiserade marknadsprodukter för dessa tjänster på åtminstone nationell nivå.

Flexibilitetstjänster som används för omdirigering bör standardiseras på åtminstone nationell nivå. Även om flera icke frekvensrelaterade stödtjänster handlas lokalt eller regionalt så utesluter inte det att de bör standardiseras på åtminstone nationell nivå för att förenkla för potentiella leverantörer att delta på flera lokala marknader.

Ei ska godkänna fastställandet av specifikationer för flexibilitetstjänster, alternativt fastställa sådana specifikationer.”

För vidare läsning av tekniska krav och villkor för tillhandahållande av efterfrågefleksibilitet rekommenderas Ei's sammanställning "Tjänster för efterfrågefleksibilitet" som publicerades i december 2020. I rapporten ges ytterligare förståelse för de krav och hinder som finns för tillhandahållandet av tjänster för efterfrågefleksibilitet [28].

5.2 GENERELLA STANDARDER OCH KOMMUNIKATIONSPROTOKOLL

Kommunikationssystemet i ett elnät baseras på flera standarder som är anpassade efter de olika delarna i elnätet där kommunikationssystem utnyttjas. Till exempel används IEC 61850 i stor utsträckning mellan utrustning på stationsnivå medan IEC 60870-5 ofta används för telekommunikation mellan stationsnivå och SCADA i elnätet i Sverige.

I avseende på fokus i denna rapport presenteras några exempel av de vanligaste standarderna som används mellan aktörerna i Figur 8 i Tabell 5. Exempel på vanliga standarder som används mellan aktörer som en del i att realisera efterfrågefleksibilitet. Samtliga standarder på området för framtidens smarta elnät kan hittas på IECs hemsida för standarder för smarta elnät [29].

Tabell 5 Exempel på vanliga standarder som används mellan aktörer som en del i att realisera efterfrågefleksibilitet.

Standard	Beskrivning
CIM <ul style="list-style-type: none"> • IEC 61970 • IEC 61968 • IEC 62325 	Standarden CIM (Common Information Model) möjliggör datautbyte mellan mjukvara i elnätet. <ul style="list-style-type: none"> • IEC 61970 – Denna standard definierar gränssnittet (API) för energihanteringssystem (EMS). • IEC 61968 – Denna standard definierar datautbyte mellan elektriska distributionssystem. • IEC 62325 – Denna standard definierar ramverket för kommunikation mellan olika aktörer och energimarknader.
DLMS/COSEM <ul style="list-style-type: none"> • IEC 62056 	Standard för datautbyte till och från elmätare. <ul style="list-style-type: none"> • DLMS (Device Language Message Specification) definierar datautbytets meddelandesystem. • COSEM (Companion Specification for Energy Metering) definierar datamodellen genom att specificera transport- och applikationslagret i DLMS protokollet.
Smart grid cyber security protocol <ul style="list-style-type: none"> • IEC 62351 	Standard utvecklad för att hantera data och informationssäkerhet i kraftsystemssammanhang.

Home cyber security <ul style="list-style-type: none"> • ISO/IEC 24767 	Standard som specificerar kraven för IT-säkerhet i ett hemmanätverk för hot både innanför och utanför nätverket.
Internet of Things <ul style="list-style-type: none"> • ISO/IEC 21823 	Standard för interoperabilitet mellan IoT-system (Internet of things, på svenska; sakernas internet) <ul style="list-style-type: none"> • Specificerar hur IoT-system skall designas för att möjliggöra olika IoT-system att byta information och tillsammans använda informationen på ett effektivt sätt. • IoT är vardagsföremål som till exempel hushållsapparater med inbyggd elektronik och internetuppkoppling, vilket gör att de kan styras eller utbyta data över nätet [30].

Utöver de exempel på standarder som nämndes i Tabell 5 Exempel på vanliga standarder som används mellan aktörer som en del i att realisera efterfrågefleksibilitet. som ofta är framtagna av internationella kommissioner så finns det även industriallianser som har kommit överens om egna standarder med oberoende certifieringsprogram som är mer eller mindre praxis inom vissa områden.

Exempel på sådana allianser presenteras i Tabell 6.

Tabell 6 Exempel på oberoende allianser med egna standarder

Allianser	Beskrivning
OpenADR (Open Automated Demand Response)	Allians som vill standardisera efterfrågefleksibilitet och distribuerade energikällor för att låta aggregatorer hantera det ökade behovet av el med mer decentraliserad elproduktion på ett kostnadseffektivt sätt. Kan ses som ramverket för kommunikation mellan hushållsapparater.
The Open Charge Alliance (OCA) <ul style="list-style-type: none"> • OCPP (Open Charge Point Protocol) 	Allians som vill göra laddstationer och centrala styrsystem från olika tillverkare kompatibla med varandra. <ul style="list-style-type: none"> • OCPP är ett protokoll för kommunikation mellan elbilars laddstationer och överliggande centrala styrsystem.

Vidare ges några exempel på standarder som används för styrning och övervakning av smarta produkter i hemmet eller kontor i Tabell 7. Exempel på sådana produkter är belysnings, värme eller styrning av egen elproduktion.

Tabell 7 Exempel på standarder som används i hemmet för styrning och övervakning av smart produkter.

Standard	Beskrivning
Zigbee	Öppen standard för trådlös styrning och övervakning av smart produkter i hemmet, till exempel belysning. Teknologin är designad för små datamängder över korta avstånd med minimal energiförbrukning vilket är en av anledningarna till att standarden är länkat till IoT. Till skillnad från WiFi är Zigbee en maskad nätverksstandard.
Z-Wave	Standard för trådlös styrning och övervakning av smart produkter i hemmet, till exempel belysning. Konkurrent till Zigbee.
MQTT	MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) är standard för IoT protokoll som till exempel används för omriktarkontroll i solcellsanläggningar och batterilager.
TCP/IP	TCP (Transmission Control Protocol) är ett dataöverföringsprotokoll som används för huvuddelen av all kommunikation på internet.

5.3 INFORMATIONSSYSTEMETS UPPBYGGNAD

Ett informationssystem beskriver flödet av information mellan aktörer. Ett kommunikationssystem är en del av informationssystemet.

För att beskriva hur informationssystemet är uppbyggt, för att realisera efterfrågefleksibilitet som en resurs för kraftsystemet att utnyttja, är det fyra olika delar som behöver förklaras. Dessa delar utgör grunden till informationssystemets uppbyggnad och listas nedan:

1. Ramverk för flexibilitet – till exempel USEF
2. Informationsmodeller - till exempel CIM (Common information model)
3. Kommunikationsprotokoll – till exempel OCPP
4. Nätverksprotokoll – till exempel TCP/IP

Dessa fyra delar beskrivs mer i detalj i kapitel 5.3.1- 5.3.4.

5.3.1 Ramverk för flexibilitet – till exempel USEF

USEF som beskrivs i kapitel 3.4.2 är ett ramverk för flexibilitetsmarknader, vilket är ett av användarfallen i SGAM som beskrivs i kapitel 3.4.1 . Ramverket för USEF beskriver och definierar:

- Datautbyte på flexibilitetsmarknaden
- Aktörer på marknaden
- Aktörernas roller och ansvar
- Olika flexibilitetsmarknaders användarfall och behov av affärsrelaterade processer

Idag används USEF i ett antal pilotprojekt bland annat FUSION [31] som fokuserar på att implementera USEF i Storbritannien samt InterFlex [32] som undersöker lokal flexibilitet vilket till exempel pilotprojektet Simris (beskrivet i kapitel 4.3) är en del av.

För att beskriva själva informationen i en USEF-baserad flexibilitetsmarknad kan CIM eller andra proprietära informationsmodeller användas.

Det finns även proprietära ramverk för flexibilitet.

5.3.2 Informationsmodeller – till exempel CIM (Common information model)

Under en längre tid har proprietära informationsmodeller varit vanliga för utbyte av information i dessa sammanhang. Idag rekommenderar IEC att CIM används eftersom det medför:

- Hög interoperabilitet
- Skalbarhet
- Användarvänlighet

Att standardisera hur man uttrycker data för att utbyta information om kraftsystemet är av stor vikt och informationsmodellen CIM utgör skalle underlätta:

- Hur det smarta elnätet beskrivs.
- Hur man definierar modeller för data i det smarta elnätet.
- Hur man harmoniserar med kommunikationsprotokoll.

CIM är idag den standard som ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators) kräver för samtliga anslutna TSOer att använda sig av vad gäller utbyte av elnätsdata [33].

Svenska elnätsföretag som Vattenfall och E.ON utvecklar CIM modeller för till exempel utbyte av nätmodeller. CIM används även i utvecklingen av icke-tekniska processer så som specificationshantering och inköp. Skandinavien ses idag som ett föredöme i användningen av CIM vilket här använts i mångt fler processer än vad som görs i övriga världen.

5.3.3 Kommunikationsprotokoll

Kommunikationsprotokollen definierar datautbytet i realtid. Till exempel definierade protokoll enligt standarderna nedan:

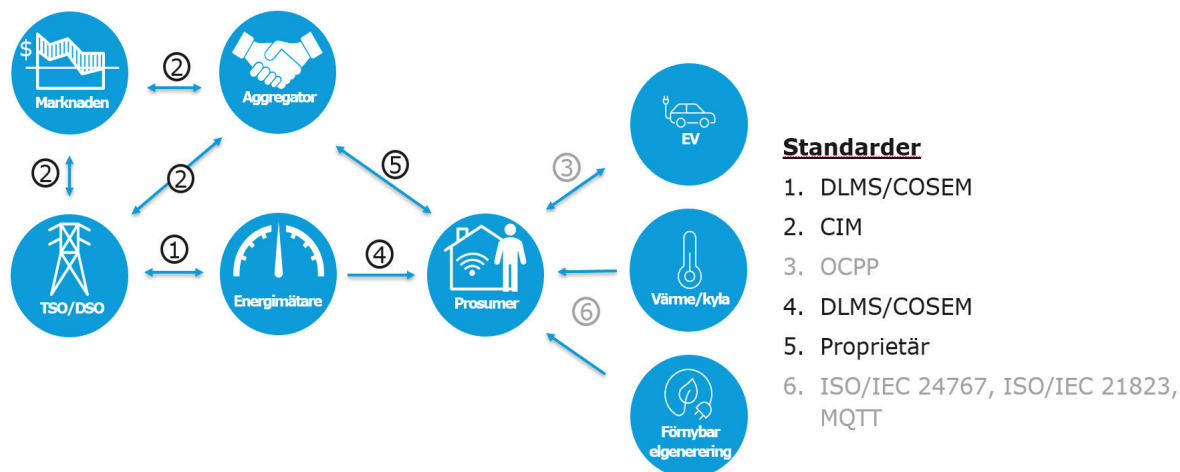
- OCPP för elbilsladdare/batterier.
- DLMS/COSEM (IEC 62056) för smarta energimätare.
- MQTT för IoT-enheter.
- IEC 61850 för kontrollanläggningar i kraftsystemet och SCADA.
- OpenADR för efterfrågefleksibilitet.
- IEC 62351 för IT-säkerhet.

5.3.4 Nätverksprotokoll

Nätverksprotokoll definierar hur data transporteras på nätverket. Exempel på nätverksprotokoll är TCP/IP, Zigbee etc. Nätverksprotokollen hanterar kommunikationsprotokollen på nätverket.

5.4 EXEMPEL PÅ KOMMUNIKATIONSÖSNINGAR FÖR EFTERFRÅGEFLEXIBILITET

I detta kapitel exemplifieras en lösning till hur kommunikationen mellan de olika aktörerna i Figur 16 kan se ut (text i grått representerar gränssnitt hos prosumern). Standarder som är föreslagna för att realisera kommunikationen finns beskrivna i kapitel 5.2. I slutet av kapitlet sammanfattas även vad digitaliseringen egentligen betyder i praktiken för elnätsföretagen.

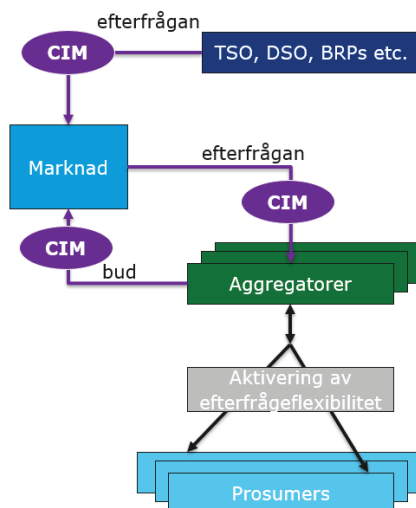


Figur 16 Exempel på hur olika standarder kan användas för att realisera ett kraftsystem där efterfrågefleksibilitet kan utnyttjas som resurs.

De olika standarderna i Figur 16 förklaras nedan:

1. DLMS/COSEM används idag mellan elmätaren och DSO. Standarden består av en datamodell (COSEM) och ett meddelandesystem (DLMS).
2. Idag är dessa gränssnitt mer eller mindre proprietära men framtiden går mot att standardisera med CIM. Bland annat ENTSO-E rekommenderar och ibland till och med kräver att CIM används då den i framtidens elnät skall utgöra grunden för digitaliseringen i elnätet.

CIM kan till exempel användas för aggregatorer att skicka bud till marknaden medan TSO/DSOer kan använda CIM för att kommunicera efterfråganbuden till marknaden. Detta illustreras i Figur 17.



Figur 17 Hur CIM används för att möjliggöra efterfrågefleksibilitet.

3. OCPP används för kommunikationen mellan laddstationen för elbilen och överliggande styrsystem.

Idag kan smarta laddstationer kopplas upp mot internet via kabel, WiFi eller 4G. Det betyder att laddstationen har direktkommunikation till aktören som tillhandahåller tjänsten för det överliggande styrsystemet, till exempel en aggregator. Laddstationerna har även egen undermätning och är på så vis inte beroende av någon data från den smarta elmätaren.

4. DLMS/COSEM kan användas mellan energimätaren och prosumern (med antagandet att prosumern tar mätuppgifter från mätarens kundgränssnitt till en smart gateway som vidare kan behandla mätdata).

De svenska funktionskraven på den smarta elmätaren gör även proprietära lösningar möjliga. Kraven är sammanfattade i Tabell 8 och Nr 2 i sammanfattningen behandlar den öppna standard som mätarens kundgränssnitt skall innehålla.

Den öppna standarden innebär därför att varje elnätsföretag skulle kunna använda sig av egna standarder i kundgränssnittet. Detta är i så fall något en smart gateway måste kunna hantera för att harmonisera. Men att nya smarta mätare bör stödja DLMS/COSEM är att rekommendera då detta är den vanligaste standarden för ändamålet.

5. Gränssnittet mellan prosumer och aggregator är idag proprietärt och fritt på marknaden. Antagligen kommer de flesta tjänster för efterfrågefleksibilitet som förmedlats av aggregatorer innebära direkt laststyrning via någon form av smart gateway/middleware hos prosumern.

Detta gränssnitt medför att verktyg för att säkerställa interoperabilitet kommer bli extremt viktigt för att säkerställa tillförlitlig utrustning från olika tillverkare.

6. ISO/IEC 21823 används mellan utrustning hos prosumern utrustning som går under IoT. Här ingår allt från belysning till styrning av förnybar elgenerering (MQTT). ISO/IEC 24767 används för IT-säkerhet.

5.4.1 Vad digitaliseringen i praktiken betyder för elnätsföretagen

För elnätsföretagen kommer det vara viktigt att ha kännedom om hur digitaliseringen i elnätet kan möjliggöra efterfrågeflexibilitet och hur detta kommer påverka dem och på vilket sätt.

Den information elnätsföretaget får från sitt elnät i form av till exempel mätdata från konsumenter och transformatorstationer måste kunna analyseras och användas för att planera driften och trigga efterfrågeflexibilitet om det skulle behövas.

Rent konkret måste elnätsföretagen kunna analysera problemen som uppkommer i nätet och lokalisera på vilken nivå problemet kan lösas för att sedan väga det ekonomiska perspektivet av att betala för till exempel efterfrågeflexibilitet mot vilken nytta den gör.

För att aktivera efterfrågeflexibiliteten så den hjälper all utrustning som har behov krävs mätdata från tillräckligt stor del av nätet. Om exempelvis både en transformator i matande station och en transformator i en underliggande nätstation är överlastade, men endast mätning finns i matande station, finns det risk att efterfrågeflexibiliteten endast löser problematiken för transformatorn i matande station. Tillräckligt mycket last anpassas, men nödvändigtvis inte under den transformator i underliggande nätstation som också var överbelastad, då man saknade vetskap om detta behov.

Dialogen kommer representeras av att elnätsföretaget på någon form av marknadsplattform dedikerad för flexibilitet kan kommunicera vilka behov de har. Alternativt att behovet kommuniceras direkt till exempelvis en aggregator, om bilaterala avtal finns.

För att detta skall kunna utföras på ett standardiserat sätt måste vissa förutsättningar möjliggöras.

- Själva grunden i inhämtningen av information av elnätet kommer från olika typer av sensorer ute i nätet (ström- och spänningstransformatörer etc.).

Det är upp till varje elnätsföretag att se till att strategiska data för analys av sitt nät finns att hämta. Data från SCADA/RTU insamlas ofta via standardiserade protokoll som IEC 61850 / IEC 60870-5-101 / IEC 60870-5-104 samt information och data från smarta elmätare via DLSM/COSEM. Datainsamling hos mindre elnätsföretag eller elnätsföretag med äldre system kan använda sig av proprietära lösningar för datainsamling.

- Den data som hämtas in måste sparas och behandlas för att identifiera elnätföretagets behov.

Att data som hämtas har tillräckligt bra kvalitet är viktigt, men eftersom krav på datakvalitet är subjektivt och beroende på användarfall finns det ingen standard eller protokoll för detta. Det finns dock rekommendationer och bästa praxis (exempelvis [34]).

Det finns i nuläget inte heller några offentliga krav på hur elnätsföretagen ska spara och hantera data.

- Behovet kommuniceras antingen till flexibilitetsmarknaden eller direkt till aggregatorn. Informationen som utbyts är beroende av användarfallet (vilka exempelvis definierats baserat på USEF).

Hur verifieringen av att avtalad flexibilitet faktiskt har levererats är för all typ av last inte helt trivialt och ett område där fullständiga lösningar inte finns i nuläget.

5.5 DEN SMARTA ENERGIMÄTAREN

Då denna rapport fokuserar på lösningar till digitaliseringen av hur aktiveringen av efterfrågefleksibilitet hos slutkunden kan realiseras är det av intresse att belysa frågan om elmätaren i sig kan användas som en del av lösningen.

Enligt Ei är elmätaren en av de centrala delarna i marknadens funktion och i utvecklingen av smarta elnät [35].

I november 2018 införde den svenska regeringen nya krav i förordningen (1999:716) om mätning, beräkning och rapportering av överförd el [36]. Förordning gäller funktionalitet i elmätare, mätsystem och mätutrustning. Elmätare med denna funktionalitet skall vara installerade senast 1 januari 2025. Ei fick i sin tur uppdraget att ta fram föreskrifter med ytterligare krav (EIFS 2019:5) [37].

I Ei's rapport (EI R2017:08) som varit underlag till regeringens beslut med avseende på förordningen (1999:716) ges följande kortfattade beskrivning av funktionskraven på elmätare [35].

Tabell 8 Sammanfattning av funktionskrav på elmätare

Nr	Funktionskrav	Syfte
1	Elmätaren ska för varje fas kunna mäta spänning, ström, aktiv energi samt aktiv och reaktiv effekt för uttag och inmatning av el	Främjar en effektiv nät drift Underlättar integrering av mer mikroproduktion i elnätet
2	Elmätaren ska utrustas med ett kundgränssnitt som stöds av en öppen standard som möjliggör för kunden att ta del av mätuppgifterna i nära realtid	Skapar förutsättningar för utvecklad energitjänstemarknad Främjar efterfrågefleksibilitet och energieffektivisering Ökar kundinflytandet

3	Elmätaren ska möjliggöra avläsning av mätdata och uppgifter om elavbrott på distans	Främjar effektiv insamling av mätdata
4	Elmätaren ska kunna registrera mängden överförd energi per timme och kunna ställas om till att registrera per 15 minuter	Ökar kundernas möjligheter att vara aktiva på marknaden
5	Elmätaren ska kunna registrera uppgifter om tidpunkt för början och slut på elavbrott längre än tre minuter	Underlättar vid företagets utbetalning av avbrottsersättning och rapportering till Ei Stärker kundens ställning
6	Det ska vara möjligt för elnätsföretaget att upgradera och ändra inställningar i elmätaren på distans	Möjliggör att ny funktionalitet kan införas kostnadseffektivt Kostsamma fältbesök kan undvikas
7	Det ska vara möjligt för elnätsföretaget att via elmätaren kunna spänningssätta och fränkoppla elanläggningar på distans	Underlättar för elnätsföretagen att stänga av strömmen i samband med kundflytt, vilket gör att flera kunder kommer att välja elavtal vid flytt Kostsamma fältbesök kan undvikas

Funktionskraven i Tabell 8 återfinns om än något mer detaljerade i förordningen (1999:716)

5.5.1 Den smarta elmätaren som en del av lösningen för efterfrågefleksibilitet

Enligt förordningen som är beskriven i kapitlet ovan kommer elmätaren möjliggöra att kunden kan ta del av mätuppgifter via kundgränssnittet. Mätuppgifterna från elmätaren kommer alltså kunna ge information om kundens totala elkonsumtion eller konsumtion per fas och detta med hög upplösning. Det skulle innebära att potentiella tjänster för efterfrågefleksibilitet kan ta del av högupplösta mätdata från mätaren. En utmaning med detta är att tjänsten inte kommer kunna differentiera konsumtionen av specifik utrusning utan bara den totala konsumtionen. Av den anledningen kommer antagligen undermätning vara befogat.

Vad som egentligen händer bakom mätaren är idag inte reglerat och kommer kanske inte heller bli det. Det är den fria marknaden som styr där aktörer med tjänster som till exempel Apple, Google eller Tibber kan utforma lösningar och erbjuda dem till de som är villiga att betala.

För att ta Tibbers befintliga lösning som exempel så används den smarta energimätaren idag inte av deras tjänst. För bilens laddstation så är lösningen sådan att denna fungerar som en undermätningseenhet till den smarta energimätaren och skickar mätvärden och styrsignaler oberoende av energimätaren. Dock ser Tibber att hushållets energimätare kan komma behöva användas i valideringssyfte i framtiden [21].

6 Risker

Alla investeringar kommer med mer eller mindre definierade eller kända risker. Det gäller även för digitalisering av elnätet. Det är därför viktigt att med omsorg analysera möjliga risker och vidta förebyggande åtgärder i största möjliga utsträckning.

Sammanhanget av den riskanalys som vi har utfört är på digitalisering av efterfrågefleksibilitet i avseende på de förslag på lösningar som presenterats i kapitel 3.7. Exempel på risker som identifierats presenteras i Tabell 9 - Tabell 11 nedan.

Tabellerna är uppdelade inom följande områden:

- Tabell 9 Exempel på IT-relaterade risker
- Tabell 10 Exempel på finansiella risker samt risker med lagar och avtal.
- Tabell 11 Exempel på risker relaterade till roller och ansvar

Den abstraktionsnivå som används i vårt fall är energimarknaden som helhet och inte nödvändigtvis för inblandade aktörer. Notera att det i detta kapitel enbart gjorts en inventering av exempel på risker för att påvisa problematik som kan uppkomma vid implementering av efterfrågefleksibilitet. Elnätsföretagen måste göra egna riskanalyser med en bedömning av sannolikhet och konsekvens för det specifika fall som de kan tänkas ställas inför.

6.1 EXEMPEL PÅ RISKER RELATERADE TILL DIGITALISERING AV EFTERFRÅGEFLEXIBILITET

Tabell 9 Exempel på IT-relaterade risker

Nr	Risk	Beskrivning
1	Energimätaren blir hackad	Kunden och dess last blir bortkopplad från nätet eller styrd av tredje part. Flexibiliteten kan inte göras tillgänglig.
2	Opålitliga kommunikationslänkar	Information når inte mottagaren. Om signalen för att aktivera flexibilitet inte uppfyller kraven för tillförlitlighet kan till exempel prognoser för tillgänglig flexibilitet vara fel.
3	Plattformer som hanterar flexibilitet på systemnivå blir hackade.	Alla flexibla laster blir bortkopplade eller inkopplade.
4	Tjänster för smarta hem	Elnätsföretagen kommer inte själva ha möjlighet att styra laster innanför mätaren. Privatkunder har dock möjlighet att koppla upp samtliga av sina laster via t.ex. Apples och Googles molnbaserade tjänster för smarta hem. Detta innebär att elnätsföretagen inte har någon insyn vilket kan skapa en större osäkerhet i lastprognoser, vilket kräver mer resurser för att hantera.
5	Snabba händelseförlopp	Digitala IT-system kan vid oförutsedda händelser orsaka extremt snabba händelseförlopp som kan ha stor påverkan på digitaliserade kraftsystem i stort.
6	Medveten eller omedveten manipulation av marknaden	Att aggregatorer medvetet eller omedvetet skickar signaler för att manipulera marknaden för att driva upp priserna på tillgänglig flexibilitet. Till exempel att bud på marknaden visar på lägre tillgänglig flexibilitet än vad som är fallet.

7	Interoperabilitetsproblem med ny utrustning	Utrustning i kommunikationsgränssnittet måste fungera och samverka med liknande utrustning från olika tillverkare. Detta gäller framförallt mellan olika elnätsföretag eftersom kundgränssnittet i elmätarna hos kunderna kan skilja.
8	Dålig kvalitet på data.	Uteblivna data kan resultera i att förtroendet för tillgänglig flexibilitet minskar och att prognoser inte stämmer.

Tabell 10 Exempel på finansiella risker samt risker med lagar och avtal.

Nr	Risk	Beskrivning
1	Otydliga regler/förordningar - Komplex system.	För dyrt att implementera och få att fungera. Få kommer förstå vem som behöver investera i lösningen för flexibilitet och dess förgreningar.
2	Vaga avtal	Hög osäkerheten kring att nätägarna kan lita på att avtalad flexibilitet finns tillgänglig när behövd.
3	Begränsande lagar.	Befintliga lagar och juridiska frågor förhalar/omöjliggör processen med implementering av flexibilitet eller förhindrar optimal funktion.
4	Reglering av tillåten teknik.	Systemet för implementering av flexibilitet kommer bygga på många olika delsystem. Reglering av krav på denna teknik måste samordnas.
5	Otydliga krav och dyr utrustning.	Implementering görs ej p.g.a. för höga kostnader till följd av att tolka olika krav.
6	Funktion och behov är inte tillräckligt avtalat.	Den utrustning/teknik som implementeras kommer fungera för dagens behov och föreskrifter. Men tekniken åldras snabbt.
7	Teknologin som skall implementeras är inte anpassad för det man egentligen vill uppnå.	Ingen lösning kan idag realisera flexibilitet fullt ut med rådande föreskrifter.

Tabell 11 Exempel på risker relaterade till roller och ansvar

Nr	Risk	Beskrivning
1	Flexibilitetens roller samt föreskrifter kring ansvar är inte tydliga.	Ingen tar ansvar och bestämmer att lösningar för flexibilitet implementeras.
2	Låga incitament för de som kan tillhandahålla flexibilitet.	Kunderna är inte intresserade av att bidra med sin flexibilitet.
3	Oklara definitioner av vad/vem som skall trigga flexibilitet.	Flexibilitet aktiveras inte vid rätt tillfällen.
4	Oklarheter kring vem som kommer "äga och driva" flexibiliteten.	Inga tydliga lösningar på vem som kommer hantera all flexibilitet.
5	Lösningarna för att realisera flexibilitet blir för dyra.	Föreslagna lösningar grundar inte ett beslut om investering.
6	Problemen som flexibilitet kan lösa är inte tydliga.	Det är omöjligt att skapa affärsmöjligheter för flexibilitet.
7	Vald teknik är för teknikfokuserad.	Intressenter för affärsområdet kommer inte engagera sig i flexibilitet och därför inte heller investera. Risken kan till exempel vara att ingenjörer gör lösningarna mer tekniska än vad som krävs och avskräcker investerare p.g.a. kunskapsbarriärer.
8	Den individuella flexibiliteten är för liten eller fragmenterad	Flexibiliteten privatkunder kan erbjuda kommer inte rättfärdiga investeringar.
9	Riktlinjer och ansvar för utbildning	Många minder elnätsföretag har kanske inte kompetens eller en organisation för implementering av flexibilitet. Riktlinjer för ansvar och utbildning måste finnas.
10	Flexibilitetsåtgärder motverkar varandra.	Kunder tar egna initiativ till att kunna erbjuda flexibilitet som motverkar elnätsföretagens åtgärder för att uppnå samma mål.
11	Prognoser av tillgänglig flexibilitet matchar inte verkligheten.	Mängden energi som köps in för att matcha prognosen stämmer inte vilket kan äventyra realtidsdriften. Att använda historisk data/trender kommer inte längre vara möjlig då kunder är mer aktiva i sitt elanvändande.

12	Optimering motverkar varandra.	Optimeringar i elnätet måste vara i linje för att minimera risker att de motverkar varandra.
----	--------------------------------	--

6.2 EXEMPEL TILL FÖRSLAG PÅ HUR RISKERNA KAN MINSKAS

Det finns kanske inget sätt att helt undkomma de risker som lyfts i stycke 6.1, men genom olika åtgärder kan riskerna minskas. Och på samma sätt som att lösningen på att möta nätets flexibilitetsbehov troligen är en kombination av flexibilitetslösningar är även bästa lösningen för att minska riskerna relaterade till flexibilitet troligen en kombination av olika åtgärder.

Några förslag listas nedan:

- Kravställning på att standardiserad utrustning och kommunikationslösningar används.
- Standardiserade test av interoperabilitet.
- Standardisering av process och informations- och begreppsmodeller för att undvika missförstånd
- Krav på höga nivåer av IT-säkerhet, samt att IT-relaterade standarder efterföljs.
- Säkerställa att designen av styrsystemen blir tillräckligt intelligenta så inte all last ändras vid exakt samma tidpunkt utan att exempelvis någon form att fördröjning appliceras om efterfrågefleksibiliteten verkställs vid övergång till ny timme.
- Säkerställa en väl fungerande skyddsdesign som är anpassad efter nätets specifika egenskaper.
- Kontinuerligt arbete med föreskrifter och regelverk för att försöka hålla så jämna steg som möjligt med teknikutvecklingen.
- Involvera olika aktörer inom branschen vid utvärdering av studier och pilotprojekt, samt val av fortsatt inriktning.
- Involvera kunderna i diskussioner om incitament och utformning för att säkerställa deras engagemang.

7 Slutsats

För att hantera de utmaningar som elnätsföretagen står inför på grund av energiomställningen behövs stödåtgärder. Flexibilitet är en av de åtgärder som kan vara en del av lösningen, exempelvis för att möta behovet av ökad nätkapacitet. För att möta kraftsystemets behov finns det olika flexibilitetstjänster tillgängliga vilka drivs av olika incitament. Det finns olika aktörer som förmedlar tjänster för flexibilitet och lösningarna skiljer sig. En av lösningarna för att möta utmaningarna är de olika tjänster som nyttjar efterfrågefleksibilitet.

Denna rapport fokuserar på efterfrågefleksibilitet via direkt styrning av laster hos privatkunder och mindre brukare. Styrningen av dessa laster (d.v.s. dess frivilliga ändring av efterfrågad elektricitet från elnätet) kommer vara resursen som utnyttjas men de tillgängliga lasterna varierar mellan hushållen och lämpar sig olika bra för att styras.

Efterfrågefleksibilitet från privatkunder och mindre brukare ses alltså som en möjlig lösning för kraftsystemets flexibilitetsbehov. Med avseende på deras möjligheter anses de kunna bidra med flexibilitet för behoven nätkapacitet och effektbalans.

Effektbalans genom tjänster via befintliga marknader med väl definierade krav (på kortare tidshorisonter via stödtjänster för balans och för längre via elhandel på Nord pool). Nätkapacitet genom tjänster via någon form av flexibilitetsmarknad eller bilaterala avtal.

Direkt styrning av efterfrågefleksibilitet som är på väg att introduceras på marknaden är en resurs som kan ses som ett komplement till traditionella tillvägagångssätt att lösa kapacitetsproblem, så som nätinvesteringar, eller indirekt styrning.

För att möjliggöra för flera aktörer att delta på de marknadsplatser som skall förmedla tjänster för flexibilitet och därmed skapa en ökad konkurrens och en positiv ekonomisk effekt, krävs att marknadsplatserna bedrivs öppet med väldefinierade processer.

Processerna måste i sin tur vara automatiserade, för att klara hantera den information som behöver överföras, vilket ställer krav på digitaliseringen av elnätet. Standardisering och interoperabilitet är viktiga byggstenar bl.a. för att underlätta att samma resurs kan nyttjas på flera marknader och därmed få lönsamhet och intresse att delta. Att se till att utvecklingen av tjänster bygger på standardiserade lösningar är grund för hållbar och skalbar innovation.

Den smarta elmätaren kommer med stor sannolikhet utgöra en viktig roll då högupplöst mätdata på så vis kommer finnas tillgänglig för de olika tjänsterna som levereras av tjänsteleverantörerna. Det skall dock påtalas att denna mätdata inte kommer kunna differentiera förbrukningen av specifika laster utan undermätning kommer kanske vara befogad. Undermätning kan vara en del den lösning som levereras av tjänsteleverantörerna.

Till sist kommer det vara viktigt att som elnätsföretag begränsa de risker som digitaliseringen för efterfrågefleksibilitet innebär genom förebyggande arbete. Det

rekommenderas att en riskanalys med en bedömning av sannolikhet och konsekvens genomförs för de specifika fall av nyttjande av efterfrågefleksibilitet från privatkunder som elnätsföretagen planerar.

8 Referenser

- [1] L. W. Ö. K. Ö. E. B. E. S. K. M. L. o. G. M. Karin Alvehag, "Åtgärder för ökad efterfrågefleksibilitet," Energimarknadsinspektionen, Eskilstuna, 2016.
- [2] E. Klaassen, "Demand response benefits from a power system perspective," Eindhoven, 2016.
- [3] L. W. Ö. K. Ö. E. B. E. S. K. M. L. G. M. Karin Alvehag, "Åtgärder för ökad efterfrågefleksibilitet i det svenska elsystemet - Ei R2016:15," Energimarknadsinspektionen, Eskilstuna, 2016.
- [4] L. S. M. L. Klara Sahlén, "Flexibilitet för ökad kapacitet och effektiv nätdrift," SWECO, 2019.
- [5] B. B. F. F. O. L. Einar Persson, "Pilotstudie i Vallentuna - Reflektioner rörande affärsmodeller för förbrukarfleksibilitet och självlärande prognosstyrning för kundanpassad effekttreglering," Energiforsk, 2012.
- [6] J. L. S. K. M. W. T. K. Johan Carlsson, "Elnätstariffer för ett effektivt nätutnyttjande, Principiella val för utformningen av nättariffer - Ei PM2020:06," Energimarknadsinspektionen, Eskilstuna, 2020.
- [7] E. Hillberg, "Flexibility needs in the future power system," ISGAN, 2019.
- [8] S. Solenergi, "Svensk solenergi," 24 08 2020. [Online]. Available: <https://www.svensksolenergi.se/nyheter/nyheter-2020/nu-har-3-procent-av-svenskarna-en-solenergianlaeggning>. [Använd 16 11 2020].
- [9] H. Sæle, "Flexibility potential at Norwegian households – customer evaluations and system benefits," IEEE, 2020.
- [10] E. H. Oskar Falkenberg, "Efterfrågefleksibilitet hos kunder - De nya funktionskraven på elmätare och deras inverkan på efterfrågefleksibilitet," Uppsala Universitet, Uppsala, 2019.
- [11] E. (Ei), "Ren energipaketet – en sammanfattning av nya och ändrade bestämmelser i elmarknadsförordningen och elmarknadsdirektivet," Energimarknadsinspektionen, 2019.
- [12] H. d. Heer, "Impact assessment of different models of independent aggregator financial responsibility and compensation in sweden," DNV-GL, 2020.
- [13] A. N. o. C. a. Burén, "Remissdokument, flexibilitetsförslag - roller och ansvar för flexibilitet," Swedish Smartgrid, 2019.
- [14] T. A. P. G. C. J. J. K. T. K. S. P. J. S. C. V. N. C. J. W. Elon Axberg, "Kapacitetsutmaningen i elnäten, Ei R2020:06," Energimarknadsinspektionen, Eskilstuna, 2020.
- [15] C.-C.-E. S. G. C. Group, "CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group Smart Grid Reference Architecture," CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, 2012.
- [16] "IEC TR 62357-1; Power systems management and associated information exchange – Part 1: Reference architecture," IEC, 2016.
- [17] U. S. E. F. (USEF), "Universal Smart Energy Framework," [Online]. Available: <https://www.usef.energy/>. [Använd 16 11 2020].

- [18] "Information om stödtjänster," Svenska kraftnät, [Online]. Available: <https://www.svk.se/aktorsportalen/elmarknad/information-om-stodtjanster/>. [Använd 21 12 2020].
- [19] "E.ON SWITCH," [Online]. Available: <https://www.eon.se/foeretag/elnaet/switch>. [Använd 16 12 2020].
- [20] H. Klomp, "Elmaknader - en internationell utblick," Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2016.
- [21] C. T. Jakob Jönsson, Interviewee, *Tibbers roll på marknaden*. [Intervju]. 28 September 2020.
- [22] M. Östman, Interviewee, *Intervju med Mikael Östman angående flexibelt hushåll*. [Intervju]. 21 September 2020.
- [23] "Vattenfall CoordiNet," [Online]. Available: <https://www.vattenfalleldistribution.se/vart-arbete/kapacitetsutmaningen/coordinet/>. [Använd 16 12 2020].
- [24] "CoordiNet," [Online]. Available: <https://coordinet-project.eu/>. [Använd 2020-12-16].
- [25] "Svenska kraftnät, SthlmFlex," [Online]. Available: <https://www.svk.se/sthlmflex>. [Använd 16 12 2020].
- [26] "E.ON Lokala energisystem," [Online]. Available: <https://www.eon.se/om-e-on/innovation/lokala-energisystem>. [Använd 16 12 2020].
- [27] "DNV-GL Smart Green Cities," [Online]. Available: <https://www.dnvgl.com/power-renewables/themes/smart-green-cities.html>. [Använd 16 12 2020].
- [28] G. W. o. H. B. R. Marie Swenman, "Tjänster för efterfrågefleksibilitet - Sammanställning av tekniska krav och andra villkor för tillhandahållandet av tjänster i form av ändrad elanvändning," Energimarknadsinspektionen, Eskilstuna, 2020.
- [29] "Smart grid standards map," [Online]. Available: <http://smartgridstandardsmap.com/>. [Använd 15 12 2020].
- [30] F. M. a. C. Floerkemeier, "From the Internet of Computers to the Internet of Things," ETH Zurich.
- [31] "USEF," [Online]. Available: <https://www.usef.energy/implementations/fusion/>. [Använd 15 12 2020].
- [32] "The InterFlex project," [Online]. Available: <https://interflex-h2020.com/>. [Använd 15 12 2020].
- [33] "ENTSO-E," [Online]. Available: <https://www.entsoe.eu/digital/cim/>. [Använd 14 12 2020].
- [34] "Recommended practice - Data quality assessment framework," DNV GL, 2017.
- [35] L. J. E. G. T. N. R. H. Linda Weman Tell, "Ei R2017:08 - Funktionskrav på elmätare - Författningsförslag," Energimarknadsinspektionen, Eskilstuna, 2017.
- [36] I. R. E, "Förordning (1999:716) om mätning, beräkning och rapportering av överförd el," Sveriges Riksdag, Regeringskansliet, 1999.
- [37] E. (Ei), "Energimarknadsinspektionens föreskrifter om funktionskrav för mätsystem och mätutrustning - EIFS 2019:5," Energimarknadsinspektionen, 2019.

Sökord

Efterfrågefleksibilitet, smarta elnät, digitalisering, standardisering, interoperabilitet, laststyrning, IT-säkerhet

DIGITALISERING FÖR EFTERFRÅGE- FLEXIBILITET

Det svenska elsystemet genomgår en stor förändring när samhället blir mer klimatsmart och digitaliserat. Andelen intermittenta energikällor ökar i elsystemet vilket gör det svårt att planera produktionen. Att kunna nyttja efterfrågefleksibiliteten hos slutkunden är en av pusselbitarna för att kunna möta utmaningarna i ett framtida mer komplext elsystem, och det finns olika lösningar för detta.

Här har man fokuserat på direkt styrning av efterfrågefleksibilitet från privatkunder och i rapporten föreslås tre lösningar för tjänster kring hur detta kan nyttjas. Det första är att balansera effekten genom balansreglering och balans-tjänster, det andra är att kapa effekttoppar via en flexibilitetsmarknad och det tredje är att kapa effekttoppar genom bilaterala avtal.

Marknadsplatserna där de här tjänsterna förmedlas kräver öppna lösningar med väl definierade och automatiserade processer vilket ställer krav på digitalisering. Resultaten visar att ju mer digitaliserat ett system är, desto viktigare blir det att utrustning och aktörer som ingår i systemet kan kommunicera med varandra. Det krävs därför standarder och ramverk som kommer att ha en central roll när efterfrågefleksibilitet införs.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se