

Den svenska
elmarknaden:
*Är hushållen en
kraft att räkna med?*

Mattias Vesterberg

Den svenska elmarknaden:
Är hushållen en kraft att räkna med?

Den svenska elmarknaden:
Är hushållen en kraft
att räkna med?

Mattias Vesterberg

SNS Förlag
Box 5629, 114 86 Stockholm
Telefon: 08-507 025 00
info@sns.se www.sns.se

SNS – Studieförbundet Näringsliv och Samhälle – är en oberoende ideell förening som genom forskning, möten och utbildning bidrar till att ledande beslutsfattare i näringsliv, politik och offentlig förvaltning kan fatta välgrundade beslut baserade på vetenskap och saklig analys. 260 ledande företag, myndigheter och organisationer är medlemmar i SNS.

Den svenska elmarknaden: Är hushållen en kraft att räkna med?
Mattias Vesterberg
© 2020 Författaren och SNS Förlag
Tryck: Books on Demand, Tyskland
ISBN 978-91-88637-43-7

INNEHÅLL

Förord	7
Sammanfattning	9
Introduktion	11
Den svenska elmarknaden	14
Efterfrågeflexibilitet	28
Svalt intresse för efterfrågeflexibilitet hos hushållen	40
Framtiden för efterfrågeflexibilitet	51
Slutsatser	56
Referenser	59

Förord

ENERGISYSTEMET I SIN HELHET, och inte minst elmarknaden, står inför en stor omställning. Med fler icke-planerbara energikällor, så som vind och sol, kommer systemet behöva bli mer flexibelt. För att möjliggöra detta lyfts ofta efterfrågefleksibilitet fram som en viktig komponent. I den här rapporten gör Mattias Vesterberg, forskare vid Nationalekonomiska institutionen vid Umeå universitet, en djupdykning i förutsättningarna för de enskilda hushållen att bidra med sådan flexibilitet.

Det är SNS förhoppning att rapporten – som utgör en del av SNS forskningsprojekt Hållbar samhällsbyggnad – ska bidra till ökad kunskap och stimulera till samtal kring framtidens elmarknad. Författaren svarar själv för analys, slutsatser och förslag. SNS som organisation tar inte ställning till dessa. SNS uppdrag är att initiera och presentera forskningsbaserade analyser av viktiga samhällsfrågor.

Forskningsprojektet följs av en referensgrupp med representanter för ett tjugotal företag, myndigheter och organisationer. Från referensgruppen erhålls också finansieringen till projektet. Referensgruppen består av Boverket, Byggföretagen, E.ON., Einar Mattsson, Ellevio, Infrastrukturdepartementet, Installatörsföretagen, Jernhusen, JM, Kommuninvest, Länsförsäkringars forskningsfond, Nacka kommun, Newsec, Ramboll, Region Stockholm, Sjunde AP-fonden, Skandia, Svenska Byggnadsarbetareförbundet, Svenskt Näringsliv, Trafikverket, Transportföretagen, Tågöretagen, White Arkitekter och Volvo Bussar. Robert Lundmark, professor i nationalekonomi vid Luleå universitet är SNS vetenskapliga rådsrepresentant i referensgruppen. Kerstin Gillsbro, vd för Jernhusen, är gruppens ordförande.

Författaren har fått många värdefulla synpunkter på utkast till rapporten från referensgruppens medlemmar.

Magnus Brolin, senior forskare i elkraftsystem och marknader vid RISE (Research Institutes of Sweden), har på ett

akademiskt seminarium kommenterat en tidigare version av rapporten och då lämnat mycket konstruktiva synpunkter.

Stockholm i juni 2020

Thérèse Lind
Forskningsledare, SNS

Sammanfattning

DEN SVENSKA ELMARKNADEN står inför stora förändringar: elektrifiering av transportsektorn och industrin, en ökad andel förnyelsebar och intermitterent produktion och utfasning av kärnkraft. I värsta fall kan ökad efterfrågan i kombination med intermitterent produktion leda till ett underskott på el som enligt Svenska kraftnät kan uppgå till 2 000 MW under en tioårsvinter. Dessutom läser vi redan idag i media om anslutningsstopp i storstadsregioner, det saknas helt enkelt tillräcklig överföringskapacitet för att kunna ansluta nya bostäder, serverhallar och batterifabriker.

Kan hushållen bidra till att hantera dessa utmaningar genom att bli mer aktiva deltagare på elmarknaden? Denna rapport tar sig an den frågan genom att beskriva hushållens roll på elmarknaden och deras möjligheter, incitament och vilja att aktivt bidra till att lösa problemen på elmarknaden. Rapporten bygger på både egen och andras forskning på området.

Efterfrågefleksibilitet

Många menar att den pågående omdaning av elmarknaden skulle kunna genomföras enklare och billigare om hushållskunderna vore mer aktiva än de är idag. Med en ökad efterfrågefleksibilitet – det vill säga att hushållen i större utsträckning än idag anpassar sin förbrukning efter kortsiktiga variationer i tillgången på el – kan samhällskostnader för att möta efterfrågetoppar minska. Aktiva hushållskunder kan också underlätta integreringen av en ökad andel förnyelsebar produktion och minska trängseln i de lokala elnäten.

Det är dock inte nödvändigtvis så att stora samhällsvinster är synonymt med stora plånboksbesparingar för det enskilda hushållet. På en oreglerad marknad, där efterfrågefleksibilitet skapas genom att hushåll frivilligt väljer att bidra med flexibilitet, krävs också incitament för de enskilda hushållen för att

samhällsvinsterna av efterfrågeflexibilitet på aggregerad nivå ska kunna realiseras.

Är hushållen en kraft att räkna med?

Rapporten visar bland annat hur arbetstider, utomhustemperatur, väderlek och levnadsvanor innebär begränsningar för hushållens möjligheter att anpassa förbrukningen efter tillgången på el. Rapporten visar också att även om hushållen omfördelar sin elförbrukning tidsmässigt så leder detta endast till marginella kostnadsbesparingar för det enskilda hushållet. Exempelvis visar en studie som beskrivs i rapporten hur en förskjutning av all förbrukning med fem timmar endast leder till kostnadsbesparingar på ett par kronor. Hushållens kompensationskrav är betydligt större. I dagsläget betraktas därför inte efterfrågeflexibilitet som särskilt attraktivt ur hushållens perspektiv, och hushållens än så länge svala intresse för timprisavtal förstärker denna bild.

Vikten av incitament

Om hushållen frivilligt vill bidra med efterfrågeflexibilitet så är det i grunden positivt, men att räkna med större potential hos hushållen än vad som är realistiskt riskerar att överskugga andra möjliga vägar framåt. Det är därför viktigt att skapa sig en realistisk bild av vad efterfrågeflexibilitet hos hushållen kan ge.

Rapporten visar att den starka tilltro till efterfrågeflexibilitet som ibland ges uttryck för grundar sig på en naiv föreställning om hushållens anpassningsbarhet. På kort sikt bör därför beslutsfattare också överväga andra verktyg för att hantera efterfrågetoppar och trängsel i elnäten och för att balansera intermittent produktion. Exempelvis bör kostnadseffektiviteten i efterfrågeflexibilitet genom beteendeförändringar jämföras med den kostnadseffektivitet som skulle kunna uppnås genom utbyggnad av produktion och överföringskapacitet.

På längre sikt kan automatisering och annan teknologi göra efterfrågeflexibilitet mer attraktivt för hushåll, men rimligen kommer hushållen bara att investera i sådan utrustning om kostnadsbesparingarna är tillräckligt stora, eller om investeringskostnaderna är tillräckligt låga. Därmed är efterfrågeflexibilitet på en avreglerad marknad, oavsett om den uppnås genom beteendeförändringar eller genom automatisering, beroende av att hushållens incitament är tillräckligt stora. De styrmedel som införs för att möta utmaningarna på framtidens elmarknad måste ta hänsyn till detta.

Introduktion

DENNA RAPPORT BESKRIVER vilken roll hushållen kan spela på elmarknaden. Framför allt fokuserar rapporten på *efterfrågefleksibilitet*, det vill säga huruvida hushåll kan ges incitament att ändra sitt *beteende* kopplat till sin elförbrukning – till exempel att använda el vid andra tidpunkter än vad man vanligtvis gör. Vilka incitament finns egentligen för enskilda hushåll att bidra med efterfrågefleksibilitet? Vilka är kostnaderna för hushållet? Förefaller det troligt att hushåll kommer att vilja bidra med efterfrågefleksibilitet? Fokus på just hushållen motiveras med att både forskare och myndigheter förefaller eniga om att det är just bland hushållen som den största outnyttjade potentialen finns. Rapporten bygger både på författarens egen forskning och på den relativt omfattande akademiska litteratur som idag finns kring efterfrågefleksibilitet.

Efterfrågefleksibilitet ur hushållens perspektiv beaktas alltför sällan i den rådande diskussionen. Även om hushållens roll på framtidens elmarknad ofta beskrivs som en viktig del för att möta framtidens utmaningar så förs diskussionen främst i ett teknikcentrerat perspektiv, där möjligheterna för elsystemet står i fokus och hushållens incitament bara skymtar i periferin. Exempelvis pratas det ofta i detta sammanhang om tekniska lösningar som smarta elnät och apparater, och »internet of things« (IOT), men mindre sällan om hur sådana förändringar påverkar de enskilda hushållen.

Diskussioner om efterfrågefleksibilitet tenderar också att bortse från det faktum att människor är vanedjur, och att ändra på dessa vanor innebär en kostnad. Hushållen använder el till uppvärmning när det är kallt, till matlagning när de är hungriga och till belysning när det är mörkt ute, och hushållen kommer rimligen att vilja bli kompenserade för att avvika från dessa vanor. Visserligen kan ny teknik förenkla flexibilitet, men det krävs i så fall att hushållen väljer att investera i sådan teknik.

Efterfrågefleksibilitet är därmed beroende av hushållens beteende, och att de incitament som erbjuds är tillräckligt stora för att hushållen ska vilja ändra sitt beteende. Detta gäller oavsett om efterfrågefleksibilitet uppstår genom att hushåll exempelvis justerar temperaturen manuellt eller investerar i styrutrustning.

En utmaning med att förstå hushållens roll på elmarknaden är att efterfrågefleksibilitet framför allt ses som en viktig del i *framtidens elsystem*, och att det inte nödvändigtvis är så att dagens förhållanden ger en fullständig bild av hushållens möjligheter och incitament att aktivt delta på elmarknaden. Exempelvis kan både teknologi och nya tjänsteerbjudanden (t.ex. aggregatorer¹) underlätta efterfrågefleksibilitet i framtiden, och rapporten bör läsas med detta i åtanke. Å andra sidan hävdar jag att många av de insikter vi kan få av att studera hushållens beteende idag också har bäring för hur de kommer att bete sig i framtiden. Precis som idag kommer monetära incitament – men också information, kunskap och dagliga vanor – att vara avgörande för möjligheterna till beteendeförändringar även i framtiden.

Syftet med denna rapport är inte att argumentera för att efterfrågefleksibilitet inte behövs, att ge hushåll möjlighet att påverka sin elförbrukning är knappast negativt. Syftet är snarare att visa på att den diskussion som idag förs kring efterfrågefleksibilitet till stor del bygger på naiva antaganden. Det är betydelsefullt att belysa och granska dessa antaganden – annars riskerar dyra policyer att bli verkningslösa. Förhoppningsvis kan denna rapport bidra till att lyfta fram vilka faktorer som är viktiga för att energipolitiken ska kunna utformas så kostnadseffektivt som möjligt.

För att förstå efterfrågefleksibilitet och dess möjligheter och begränsningar är det dock lämpligt att börja från början. Framför allt är det viktigt att förstå kontexten. Avregleringen av den svenska elmarknaden och teknologiska framsteg innebär faktiska möjligheter till efterfrågefleksibilitet – samtidigt innebär klimat- och energipolitiken och den ökande andelen intermitterande produktion, ett ökat behov av efterfrågefleksibilitet. Men lika viktigt att förstå är att el idag förmodligen är en av de viktigaste konsumtionsvarorna eftersom våra liv i större utsträckning än nånsin kretsar kring el. Denna rapport inleds därför med en beskrivning av elens historia i Sverige; den pågående resan från en centraliserad produktion som går att planera, till framtidens decentraliserade och förnyelsebara produktion – som inte låter sig planeras på samma sätt. Det är i ljuset av denna utveckling som vi bör förstå efterfrågefleksibilitet. Sedan beskrivs hur den svenska elmarknaden fungerar och den roll som efterfrågefleksibilitet och aktiva hushåll kan spela på elmarknaden. Därefter följer en genomgång av studier och litteratur som visar på varför de höga förhoppningarna på efterfrågefleksibilitet i många fall bygger på naiva antaganden,

1. En aggregator kan beskrivas som en aktör som samlar flexibilitet från flera andra aktörer och säljer denna flexibilitet på en marknad. Se sidan 54 i denna rapport.

samt varför det är viktigt att som utgångspunkt beakta hur hushåll använder el idag. Slutligen diskuterar jag framtiden för efterfrågeflexibilitet i Sverige.

Den svenska elmarknaden

DETTA KAPITEL REDOGÖR för hur den svenska elmarknaden har utvecklats från en reglerad marknad till en avreglerad marknad. Kapitlet beskriver också utbud och efterfrågan på elmarknaden, och hur denna marknad kan förstås ur ett nationalekonomiskt perspektiv.

2. Det vore en överdrift att säga att hela den svenska elmarknaden är avreglerad, då till exempel överföring av el förtfarande är reglerad. Däremot är elhandel och försäljning av el avreglerad.

En kort historik

Elektrifieringen av Sverige är kanske det som bidragit mest till vår höjda levnadsstandard under de senaste 100 åren, och få är idag de stunder då vi inte använder el på något sätt. Historiskt har elförsörjningen varit stabil och el har kunnat tillhandahållas till låga kostnader för hushåll och företag. Jämfört med de flesta andra länder har Sverige haft en relativt hög elförbrukning per capita, och den stora efterfrågan på el har framför allt drivits av industrialisering, men också av en ökad användning av el för uppvärmning och fler eldrivna hushållsapparater. Idag är el en central del av varje hushålls vardag.

Fram till 1996 var den svenska elmarknaden reglerad och på denna marknad spelade hushållen en begränsad roll. Avsaknaden av konkurrens mellan leverantörer av el innebar att möjligheterna för hushållen att påverka kostnaderna för sin elförbrukning var begränsade. Hushållen köpte el från det lokala elföretaget som oftast bara erbjöd en typ av avtal, med priser som sällan eller aldrig varierade och som därmed inte heller speglade tillgången på el. Dessutom var priserna både stabila och låga, vilket gav hushållen små incitament att delta aktivt på elmarknaden.

Under 1990-talet avreglerades (eller omreglerades²) många europeiska elmarknader, inte bara den svenska. Avregleringen syftade till att öka elmarknadens effektivitet genom att skapa konkurrens inom både produktion och försäljning av el. Distribution av el förblev dock fortsatt reglerad, både i Sverige

och i de flesta andra länder, eftersom distribution av el kan karaktäriseras som ett naturligt monopol. Enkelt förklarat uppstår ett sådant naturligt monopol när produktionsteknologin karaktäriseras av höga fasta kostnader, vilket i sin tur innebär att den genomsnittliga kostnaden kommer att minska när produktionen ökar. Detta innebär att ett ensamt företag kan producera till en lägre kostnad än om det finns flera företag, och därmed sätta lägre priser. Det är därför ekonomiskt fördelaktigt för samhället att endast ha ett elnät istället för flera.

De flesta forskare är överens om att avregleringen och integreringen av de nordiska elmarknaderna har fungerat väl, se till exempel Damsgaard m.fl. (2005), Amundsen och Bergman (2006), Lundgren (2009) och Brännlund m.fl. (2012). Marknadsmakten för enskilda aktörer har minskat och priser sätts efter marginalkostnaden för produktion (Hellström m.fl., 2012). Hushållen har också blivit mer aktiva, andelen hushåll som aktivt byter mellan olika leverantörer är exempelvis större än på de flesta andra avreglerade marknader (Litt-lechild, 2006).

En översikt över den svenska elmarknaden idag

Det finns i huvudsak fem olika aktörer på den svenska elmarknaden: producenter, elhandlare, konsumenter, elnätsbolag samt stamnätsoperatören Svenska kraftnät. *Producenterna* är de som äger produktionsanläggningar, till exempel vindkraftsturbiner eller kärnkraftverk. De säljer sin producerade el på den nordiska elbörsen Nord Pool, där även producenter från övriga Norden kan bjuda in el. *Elhandlare* köper el på Nord Pool och säljer till *slutkonsumenten* (hushållen). Svenska kraftnät transporterar elen från produktionsanläggningar, via högspänningsledningar, till transformatorstationer. Från dessa stationer sker vidare transport av el via lågspänningskablar till slutkonsumenten, och dessa regionala och lokala *elnät* sköts av både privata och kommunala bolag.

Elhandelspriset bestäms av utbud och efterfrågan på Nord Pool. Eftersom det saknas möjligheter att lagra el på ett ekonomiskt rimligt sätt, och på grund av kortsiktiga avvikelser från förväntad efterfrågan och utbud, så handlas den mesta elen på avtal med korta löptider. Framför allt sker denna handel på dagen före-marknaden, Elspot, som står för ungefär 75 procent av handeln med el i de nordiska länderna (enligt www.nordpool.com). Avtal om leverans av el nästa dag sluts mellan de cirka 400 köparna och säljarna, och marknadspriset bestäms utifrån förväntat utbud och efterfrågan för varje timme. Det finns även en intra-dag-marknad, Elbas, där eventuella obalanser som uppstår mellan stängning av Elspot och leverans nästa dag täcks, och en balansmarknad för att reglera

obalanser inom leveranstimmen. Den svenska elmarknaden är genom Nord Pool integrerad med marknaderna i de nordiska och baltiska länderna via en gemensam spotmarknad, och idag finns en betydande överföringskapacitet mellan Sverige och våra grannländer.

Avregleringen av den svenska elmarknaden har ändrat förutsättningarna och skapat möjligheter för hushållen att delta aktivt på elmarknaden på ett helt annat sätt än tidigare. Den kanske viktigaste förändringen är att hushållen numera kan välja fritt bland ett stort antal elhandlare som erbjuder dem en rad olika typer av elavtal med olika prismodeller. Lite fler än hälften av hushållen i Sverige har valt elavtal med priser som varierar från månad till månad (rörligt elpris), och ungefär 30 procent av hushållen har elavtal med pris som är bundet på mellan ett och fyra år (fast elpris). Cirka 15 procent av hushållen har inte aktivt valt elavtal, och har då fått ett så kallat anvisningsavtal, där priser generellt är högre än om hushållen gjort ett aktivt valt. Däremot kan hushållen fortfarande inte välja elnätsföretag. Den stora variationen i priser skapar också större incitament att reagera på prissignaler genom att anpassa sin elförbrukning, eller byta elhandlare eller elavtal.

Förutom elhandelspriset (dvs. jämviktspriset på el från Nord Pool) betalar hushållen också för elnät (dvs. transporten av el). Dessutom betalar slutkonsumenten skatt, moms och en avgift för gröna certifikat. Ungefär hälften av konsumentpriset består av sådana skatter och avgifter. Eftersom överföringsmöjligheterna i Sverige är begränsade har landet delats in i fyra *prisområden*, där prisvariationer mellan områdena reflekterar flaskhalsar i överföringskapacitet. För de flesta timmar är priset detsamma i alla fyra prisområdena, men under timmar där flaskhalsar i överföring av el uppstår kan priserna skilja sig markant mellan olika elprisområden. Syftet med uppdelningen i elprisområden är att låta priserna reflektera flaskhalsar i överföringskapacitet, och därmed skapa incitament till investeringar i överföringskapacitet.

Utbudet av el

Idag produceras den mesta av elen i Sverige av vattenkraft och kärnkraft, som står för ungefär 45 procent var av den totala produktionen (Svenska kraftnät, 2020). Den övriga produktionen utgörs huvudsakligen av värmekraft och vindkraft. Sverige har under de senaste åren varit nettoexportör³ av el (upp till 20 TWh/år som mest), och eftersom majoriteten av landets elproduktion är relativt grön så leder den endast till relativt små utsläpp av växthusgaser. År 2018 var utsläppen av växthusgaser från el- och fjärrvärmeproduktion 4,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarade 8 procent av de totala växthusgasutsläppen i Sverige (Naturvårdsverket, 2019).

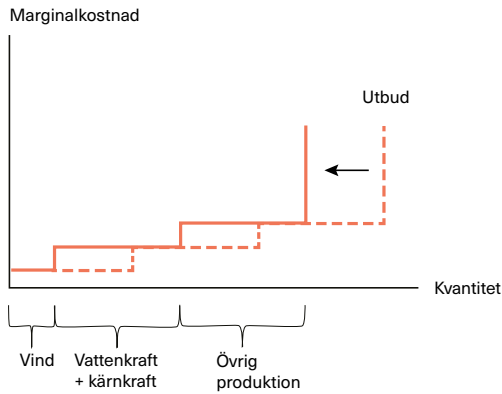
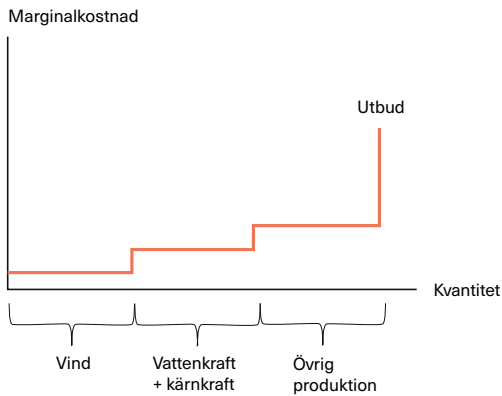
3. Det vill säga att Sverige exporterar mer el än vad vi importerar, sett över ett år.

Den svenska elmarknaden står nu inför stora förändringar, som kommer att innebära stora utmaningar. Sverige har en väldigt ambitiös klimat- och energipolitik och siktar på att år 2040 ha 100 procent förnybar energi (Energimyndigheten, 2020). Andelen vindkraft har ökat kraftigt de senaste åren. För femton år sedan utgjorde landets produktion från vindkraft inte ens 1 procent, medan den idag är över 15 procent – den installerade kapaciteten har under denna period ökat från mindre än 1 GW till dagens cirka 7 GW (Energiföretagen, 2019b). Denna utveckling kommer att fortsätta under en överskådlig framtid. Exempelvis visar Energimyndighetens prognoser att produktionen från vindkraft kommer att öka till mellan 44 och 60 TWh till 2050. Enligt Energimyndighetens prognoser (Energimyndigheten, 2019a) drivs vindkraftsutbyggnaden i början av perioden av elcertifikatsystemet (2020–2030), för att under periodens senare del byggas utan stödsystem i takt med att elpriserna stiger. Kärnkraften antas vara helt utfasad 2050 och i samtliga scenarier är investeringar i ny kärnkraft olönsam i Sverige. En liknande utveckling pågår även i andra länder. Energiwende i Tyskland är ett bra exempel, även om just detta fall har inneburit en mer dramatisk utfasning av kärnkraft än i Sverige.

Utbudet av el kan beskrivas med den så kallade merit-order-kurvan (i brist på en bättre svensk översättning för denna engelska term används i resten av rapporten *utbudskurvan*), som visar hur många enheter el (dvs. hur många kWh) producenter är beredda att producera till ett givet pris, givet en installerad kapacitet. I den enkla modellen kan vi tänka oss att varje produktionsslag har en konstant marginalkostnad (dvs. kostnaden för att producera ytterligare en enhet el är konstant) och en given installerad kapacitet. Detta ger upphov till en trappformad utbudskurva, se figur 1. Denna figur visar marginalkostnad på den vertikala axeln och producerad kvantitet på den horisontella axeln, och för enkelhetens skull illustreras bara marginalkostnad och installerad kapacitet för kategorierna Vind, Vatten och kärnkraft samt Övrig produktion. I exemplet har alltså vattenkraft och kärnkraft samma marginalkostnad. Den teknologi som har lägst marginalkostnad ligger längst till vänster i figuren och ju längre högerut vi rör oss, desto högre är marginalkostnaden. Så länge jämviktspriset på marknaden är högre än marginalkostnaden för ett givet produktionsslag så uppnås en vinst. Om priset däremot är lägre än marginalkostnaden så producerar inte detta produktionsslag. I Sverige har vindkraft den lägsta marginalkostnaden (om man tar hänsyn till subventioner), därefter kommer vattenkraft och kärnkraft, och sist övriga produktionskällor (Blesl m.fl., 2007).

Ett sätt att visa på de kortsiktiga effekterna av intermittent produktion (dvs. produktion som inte kan planeras), som till exempel vindkraft, är genom ett så kallat *skift* (dvs. en för-

Figur 1. Utbudskurvor för el, exempel. Den nedre figuren visar hur utbudet varierar beroende på effekterna av intermittenta produktionslag.



flyttning i sidled) av utbudskurvan. Om det blåser mycket finns det ett stort utbud av el från vindkraft, medan utbudet minskar om det är stiltje.⁴ Detta illustreras i den nedre delen av figur 1, där den streckade utbudskurvan visar en situation där det blåser mycket och den heldragna linjen visar en situation med normal vind. Utbudskurvan skiftar åt vänster när vinden minskar. Vissa produktionslag varierar över tid, till exempel vindkraft och vattenkraft, medan kärnkraft producerar mer konstant över tid. Vi kan därför utgå ifrån att skift av utbudskurvan därför främst beror på variationer i vind- och vattenkraft. Det är viktigt att poängtera att utvecklingen mot en ökad mängd vindkraft än så länge har haft relativt marginell effekt på exempelvis variationer i produktion, och att vi idag har goda möjligheter att balansera variationer i vindkrafts-

4. Vi kan se det som att tillgänglig kapacitet, i figuren illustrerat med längden på det horisontella segmentet på utbudskurvan, beror på hur mycket det blåser.

produktionen med hjälp av vattenkraft. Exempelvis kan vi tänka oss att när utbudskurvan skiftar åt vänster på grund av minskad vind, så kan man öka vattenkraftsproduktionen och därmed skifta kurvan åt höger igen. De senaste vintrarnas relativt milda väder med låg efterfrågan på el har också bidragit till att elsystemet inte har ansträngts i särskilt stor utsträckning.

Elsystemet ansträngs som mest under så kallade tioårsvintrar⁵. Svenska kraftnät (2019) visar att den svenska effektbalansen har försämrats: Sverige har ett nationellt effektunderskott på 1 000 MW (ungefär motsvarande en kärnkraftsreaktor) under en normalvinter och 2 000 MW under en tioårsvinter. Detta kan jämföras med normalvintern 2018/2019, då underskottet var 400 MW. Situationen är liknande i de övriga nordiska länderna. Det sammanräknade nordiska underskottet för höglasstimmar (timmar när det råder knapphet på el) under en tioårsvinter har ökat från 3 000 till 4 900 MW. Enligt Svenska kraftnät beror detta ökade underskott inte på ökad förbrukning i höglasstimmar, utan är ett resultat av minskad produktionskapacitet – från en maximal kapacitet i Norden på 70 100 MW till 68 000 MW. Det är framför allt stängningen av Ringhals 2 (på 904 MW i installerad effekt) som anges som huvudorsak. Detta, i kombination med restriktioner kring ökad produktion från vattenkraft och att vindkraften under de flesta timmar endast kan leverera en mindre andel av installerad kapacitet (eftersom det inte blåser överallt samtidigt), innebär att Sverige tvingas förlita sig på importerad el under dessa timmar.

5. Begreppet tioårsvinter används som ett mått på en belastning av elsystemet som rimligen bör klaras med tillräckliga marginaler, och avser en ovanligt kall vinter som statistiskt sett inträffar vart tionde år.

Elnätets kapacitet

Ytterligare ett problem – i dagens debatt ofta utmålade som det kanske mest akuta – är begränsningar i kapaciteten för överföring av el. I ett system karakteriserat av en stor andel vindkraft blir det avgörande att kunna transportera elen från platser där det blåser till konsumenterna. I takt med att efterfrågan ökar krävs alltså inte bara tillräckligt med produktion, utan också tillräckligt med överföringskapacitet (Sweco, 2018a; Svenska kraftnät, 2018). Dessutom är elnätet idag anpassat efter stora produktionsanläggningar och riskerar därför att fungera mindre effektivt med en ökad andel decentraliserad produktion (vind- och solkraft) (se t.ex. Pérez-Arriaga & Batlle, 2012; Powercircle, 2018; Joskow, 2019).

En fortsatt urbanisering förväntas också medföra ett fortsatt ökat tryck på elnätet, både i städer och på landsbygden. I städerna förväntas trängseln i elnäten öka. Utmaningen på landsbygden är den motsatta; näten i glesbygden behöver byggas ut men kommer att försörja allt färre människor, vilket innebär att kostnaderna per kund ökar (IVA, 2016). Nätförstärkningar kommer därför bli nödvändiga, där Svenska kraft-

nät ansvarar för utbyggnad av stamnätet och lokala nätbolag ansvarar för de lokala elnäten.

Efterfrågan på el

Sverige har redan idag en väldigt hög elanvändning – år 2018 uppgick den totala elanvändningen per capita till drygt 15 000 kWh, att jämföra med till exempel Tyskland och Frankrike som har ungefär hälften så hög elförbrukning per capita (Energiföretagen, 2019a). De flesta är dessutom överens om att elförbrukningen kommer att öka; elektrifiering av transportsektorn och industrin kommer att leda till en drastisk ökning av efterfrågan på el, till exempel på grund av elbilar, elvärme och nya serverhallar.

Enligt Svenskt Näringsliv väntas den årliga elanvändningen öka till 200 TWh till år 2045. Som exempel på den ökande efterfrågan på el kan nämnas att enbart den serverhall som Facebook bygger upp i Luleå förväntas stå för runt 2 procent av den samlade svenska industrins behov av el idag (Svenskt Näringsliv, 2019). Ett annat talande exempel är transportsektorn, där IVA (2016) menar att elbehovet under de kommande tio åren kommer att öka från dagens 3 TWh till 16 TWh. Till detta kommer även det ökade effektbehov som uppstår när utvecklingen snabbt går mot att elfordonen får allt större batterier som tekniskt sett kan laddas allt snabbare. Även Energimyndigheten beskriver i sina prognoser en ökad elanvändning i samhället (Energimyndigheten, 2018). Denna ökning drivs enligt deras prognoser framför allt av en ökad elanvändning inom transportsektorn samt en ökad energianvändning inom industrin, där användningen av el och biobränsle ökar mest.

De flesta bedömare menar att hushållens elkonsumention däremot inte kommer att öka i någon större utsträckning, och att exempelvis ökad elektrifiering (exempelvis eldrivna värmepumpar istället för fjärrvärme) i många fall kommer att kompenseras av en ökad energieffektivisering. Dock kan en växande befolkning få effekter på hushållens elförbrukning, framför allt på lokal – men även på nationell – nivå. Ser vi till befolkningsutvecklingens betydelse för elanvändningens ökning jämfört med idag, svarar den för 10–15 TWh till 2030 och 20–25 TWh till 2050 (IVA, 2016).⁶

EFTERFRÅGETOPPAR

Många menar att en av de stora utmaningarna på elmarknaden är hur man ska hantera stora efterfrågetoppar (se t.ex. diskussionerna i Vesterberg & Krishnamurthy, 2016; Energi-marknadsinspektionen, 2010, 2016; Borenstein, 2005; Kop-sakangas-Savolainen & Svento, 2012). De flesta människor lever ungefär likadana liv i termer av elförbrukning. Vi kliver upp på morgonen, tänder lyset och lagar frukost. Är det kallt

6. Förutom den direkta påverkan på elanvändningen av "antalet invånare i Sverige", inkluderas här också den påverkan invånarantalet har på "antalet hushåll" och "lokalyta i servicesektorn". Invånarantalets påverkan på elanvändningen för uppvärmning, inom industrin och i transportsektorn bedöms vara relativt måttlig. Se IVA (2016).

ute kanske vi höjer värmen lite innan vi går till jobbet. När vi sedan kommer hem lagar vi mat, tvättar kanske kläder och så vidare. Generellt använder vi som mest el på eftermiddagen och kvällen och eftersom alla hushåll gör ungefär likadant blir efterfrågan på el också väldigt stor just då. Till detta kommer också efterfrågan från industrin, servicesektorn och transportsektorn. Om samhället vill undvika höga priser, och i värsta fall strömavbrott, så måste produktion och överföring av el dimensioneras efter de timmar då efterfrågan är som störst, vilket samtidigt innebär att en stor andel av denna kapacitet står outnyttjad under övriga timmar.

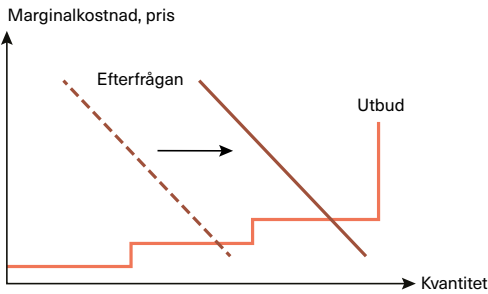
Efterfrågan på el kan beskrivas med hjälp av en *efterfrågekurva* (se figur 2), som visar hur många enheter av el (dvs. hur många kWh) som konsumenten efterfrågar vid ett givet pris. För de allra flesta varor, el inkluderat, så efterfrågar konsumenter mer el när priset är lågt, medan efterfrågan minskar när priset stiger. Detta medför en negativt lutande efterfrågekurva. Lutningen på efterfrågekurvan beskriver hur mycket konsumenter reagerar på prisförändringar genom att ändra sin efterfrågan.

En betydande mängd akademiska artiklar visar empiriskt på att priskänsligheten för efterfrågan på el är väldigt liten, även om resultaten skiljer sig åt markant mellan olika studier. Ett vanligt mått på priskänsligheten är *priselasticitet*, som beskriver med hur många procent efterfrågad kvantitet ändras när priset ändras med 1 procent. Ito (2014) estimerar att priselasticiteten i USA är mellan $-0,03$ och $-0,1$, vilket innebär att om priset stiger med 10 procent så minskar det genomsnittliga hushållet sin förbrukning med mindre än 1 procent. Allcott (2011a) visar på ungefär liknande priselasticitet för hushåll på timprisavtal i USA. Nesbakken (1999) estimerar priselasticiteten i Norge till något mer elastisk, mellan $-0,24$ och $-0,66$. Det finns förvånande få nya beräkningar av priskänsligheten i Sverige, men Brännlund m.fl. (2007) estimerar den till $-0,24$, och Lanot och Vesterberg (2020) till ungefär $-0,1$. Även Bartusch och Alvehag (2014) och Bartusch m.fl. (2011) visar att de svenska hushållen reagerar väldigt lite på prisförändringar, även om de inte presenterar några siffror på priselasticitet.

Värt att nämna är att dessa beräkningar (både de för Sverige och de för andra länder) avser kortsiktig priskänslighet. På lång sikt är hushållen betydligt mer priskänsliga, eftersom de har möjlighet att investera i teknologi och energieffektivitet som minskar elförbrukningen. Exempelvis visar Krishnamurthy och Kriström (2015) att den långsiktiga priselasticiteten är så stor som $-0,7$ i Sverige.

Två hypotetiska efterfrågekurvor visas i figur 2 (den streckade kurvan och den heldragna kurvan). Givetvis beror efterfrågan på fler faktorer än pris, som till exempel utomhus-temperatur, och alla sådana faktorer skiftar efterfrågekurvan i sidled. Om temperaturen är låg efterfrågar vi mer el till ett

Figur 2. Skift av efterfrågekurvan.



givet pris, och vice versa. På samma sätt kan vi tänka oss att konsumenternas efterfrågan på el varierar mellan timmar på dygnet; när vi är på jobbet är efterfrågan på hushållsel lägre än när vi kommer hem efter en arbetsdag och lagar mat och tittar på tv. I figur 2 illustreras sådana förändringar som skift av efterfrågekurvan åt höger (från den streckade efterfrågekurvan till den heldragna). En liknande effekt uppstår som följd av förändring på lång sikt, såsom ökad elektrifiering, en större befolkning och fler serverhallar. Vi kan alltså tänka oss att kurvan skiftar både på kort sikt (mellan timmar) och på lång sikt (mellan år).

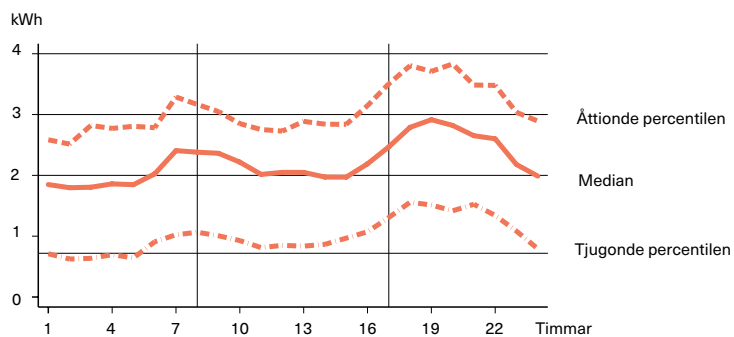
ELKONSUMTION PER TIMME FÖR 200 HUSHÅLL – EXEMPEL

Vesterberg och Krishnamurthy (2016) illustrerar hur konsumtionen av el varierar över ett dygn med hjälp av detaljerade förbrukningsdata för 200 slumpmässigt utvalda svenska hushåll boende i villa, se figur 3–6.⁷ Dessa data, som samlades in av Energimyndigheten mellan 2006 och 2008 (Zimmermann, 2009; Vesterberg & Krishnamurthy, 2016; Vesterberg, 2016), beskriver elkonsumtionen för enskilda apparater under tiominutersintervaller. Totalt mättes förbrukningen på 150 olika hushållsapparater, inklusive uppvärmning och belysning. Dessa data möjliggör en detaljerad förståelse av inte bara konsumtionsnivåer, utan också förbrukningsmönster, vilket på ett tydligt sätt synliggör problematiken med efterfrågetoppar. Dessutom är en detaljerad förståelse av nuvarande förbrukningsmönster avgörande för att förstå möjligheterna för efterfrågefleksibilitet, inte minst som en utgångspunkt för beräkningar av möjliga kostnadsbesparingar för de enskilda hushållen.

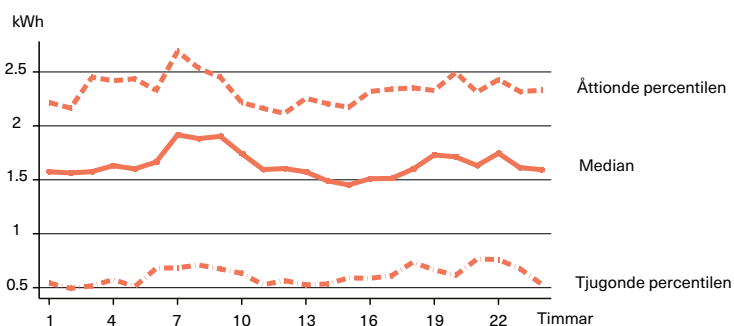
En majoritet av hushållen som deltog i undersökningen var lokaliserade i Mälardalen, men 25 av dem var lokaliserade i nor-

7. De data som Energimyndigheten samlade in inkluderar även 189 lägenheter, men ur ett efterfrågefleksibilitetsperspektiv är dessa inte lika intressanta som villor då deras elförbrukning är betydligt lägre, och då elförbrukningen i många fall ingår i hyran.

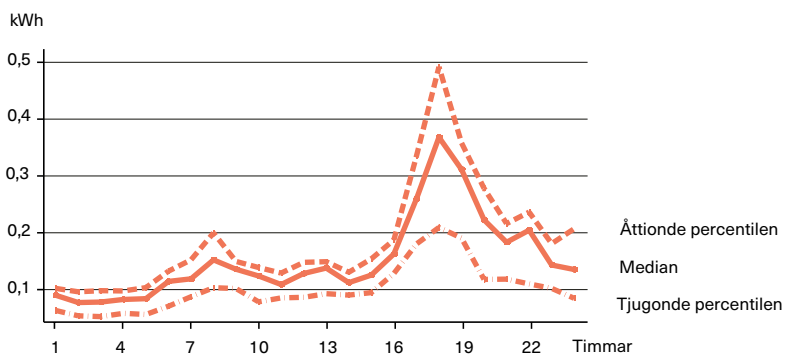
Figur 3. Total förbrukning per timme för en genomsnittlig arbetsdag i februari. I figuren presenteras förbrukningsprofilen för medianhushållet samt för den 20e och den 80e percentilen. Källa: Vesterberg och Krishnamurthy (2016).



Figur 4. Förbrukning för uppvärmning per timme för en genomsnittlig arbetsdag i februari. I figuren presenteras förbrukningsprofilen för medianhushållet samt för den 20e och den 80e percentilen. Källa: Vesterberg och Krishnamurthy (2016).



Figur 5. Förbrukning för kök per timme för en genomsnittlig arbetsdag i februari. I figuren presenteras förbrukningsprofilen för medianhushållet samt för den 20e och den 80e percentilen. Källa: Vesterberg och Krishnamurthy (2016).



ra Sverige och lika många i södra Sverige. Förutom förbrukningsdata samlade Energimyndigheten också in information om hushållskaraktiska som inkomst, antal personer i hushållet och deras ålder, boyta och uppvärmningssystem. Drygt 60 procent av villorna hade någon form av eluppvärmning, medan resterande andel hade fjärrvärme eller en kombination av elvärme och exempelvis vedspis. Tyvärr saknas information om vilket elavtal hushållen hade under mätperioden, men med största sannolikhet hade de antingen ett elavtal med priser som varierar per månad (rörligt elpris), eller ett elavtal med fast pris som är bundet under ett eller flera år (fast elpris).

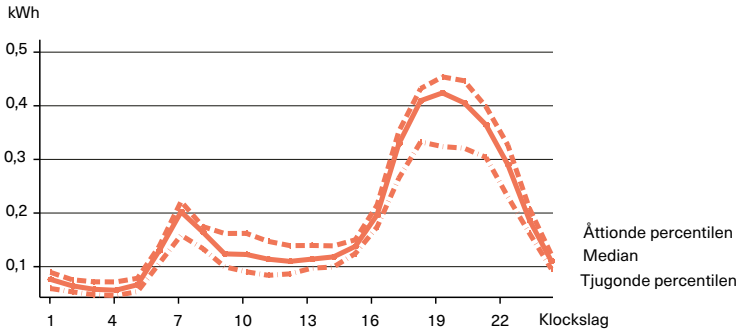
Även om dessa data visar på en relativt stor skillnad i nivåer mellan hushåll, där den största skillnaden drivs av skillnader i uppvärmningssystem, så är förbrukningsmönstren under exempelvis en arbetsdag i februari slående lika mellan hushållen: hushåll använder el till uppvärmning när det är kallt, till belysning när det är mörkt och till matlagning efter jobbet. Detta leder till en mindre topp i efterfrågan på morgonen och en tydlig topp på eftermiddagen, vilket illustreras i figur 3 som visar total förbrukning. Elförbrukning per timma för uppvärmning illustreras i figur 4. Även här kan man se en tydlig efterfrågetopp på morgonen, däremot är efterfrågetoppen lite mindre tydlig på kvällen.

Elförbrukning för kök (figur 5) och belysning (figur 6) uppvisar väldigt tydliga efterfrågetoppar, framför allt på kvällen. En tolkning av dessa figurer är att elförbrukning för uppvärmning bestämmer nivån på den totala förbrukningen, och elförbrukning för kök och belysning bestämmer variationen mellan timmar. Se Vesterberg och Krishnamurthy (2016) för mer detaljer.

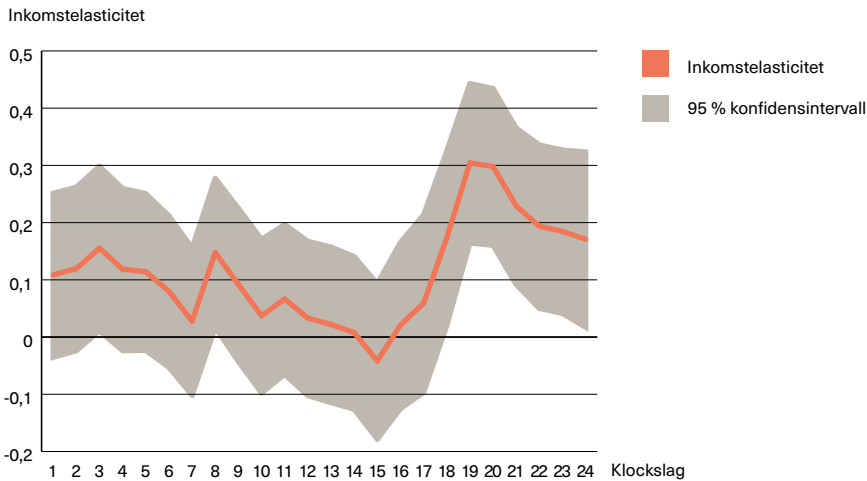
INKOMSTENS PÅVERKAN PÅ ELFÖRBRUKNINGEN

Förutom trender som elektrifiering och befolkningsökning, visar tidigare litteratur att elförbrukningen också ökar med inkomst (Parti & Parti, 1980; Nesbakken, 2001; Krishnamurthy & Kriström, 2015). Ett användbart begrepp för att förstå hur inkomst påverkar efterfrågan på el är *inkomstelasticiteter*, som beskriver hur många procent vi ökar konsumtionen med när inkomsten ökar med 1 procent. Centralt i nationalekonomi är nyttofunktionen, som beskriver hur mycket nytta hushållen får av att konsumera en vara, till exempel el. Tillsammans med en budgetrestriktion, som beskriver hur många enheter konsumenten har råd med givet pris och inkomst, kan vi härleda den nytto-maximerande efterfrågade kvantiteten, det vill säga efterfrågekurvan som beskrevs tidigare. När inkomsten ökar har vi råd med fler enheter konsumtion (i detta fall kWh) till ett givet pris, och eftersom vi får lite mer nytta av en extra enhet konsumtion (t.ex. genom lite mer golvvärme) ökar vi vår konsumtion då inkomsten ökar. Det vill säga, efterfrågekurvan skiftar åt höger.

Figur 6. Förbrukning för belysning per timme för en genomsnittlig arbetsdag i februari. I figuren presenteras förbrukningsprofilen för medianhushållet samt för den 20e och den 80e percentilen. Källa: Vesterberg och Krishnamurthy (2016).

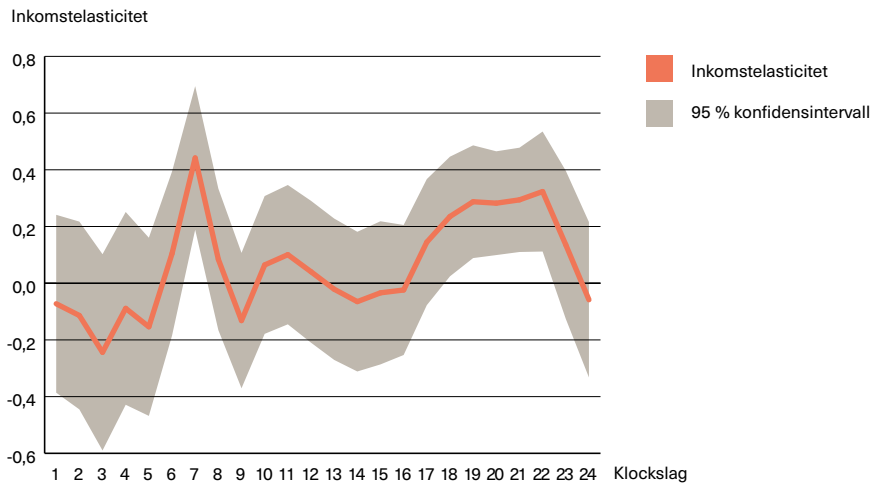


Figur 7. Timvisa inkomstelasticiteter för kök. Källa: Vesterberg (2016).

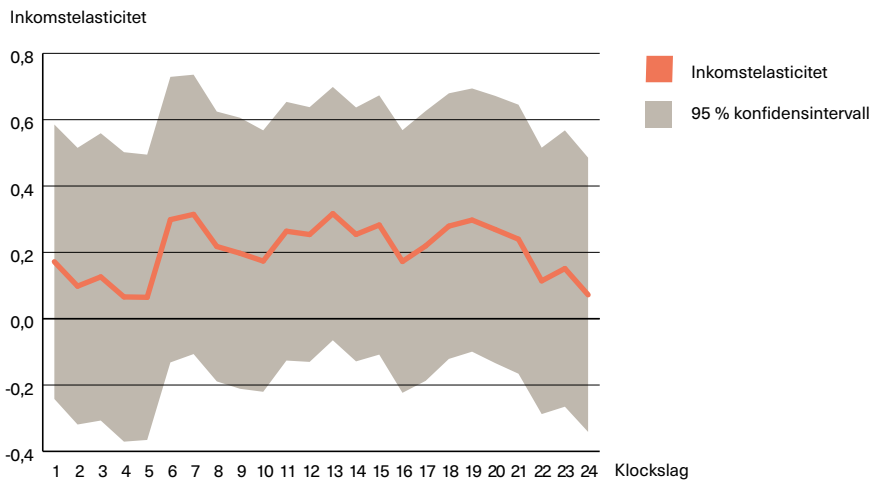


Vesterberg (2016) visar, med hjälp av tidigare nämnda data från Energimyndigheten, inte bara att hushåll med hög hushållsinkomst konsumerar mer el i genomsnitt, utan också att denna högre förbrukning främst sker under timmar då förbrukningen redan är hög, vilket bidrar till ännu större efterfrågetoppar. Förklaringen till detta är att hushåll med hög inkomst har fler apparater, att de använder dessa apparater mer och vid specifika tidpunkter. Exempelvis använder kanske ett hushåll med hög inkomst mer avancerade köksapparater och lagar mer avancerade maträtter. Eftersom dessa apparater

Figur 8. Timvisa inkomstelasticiteter för belysning. Källa: Vesterberg (2016).



Figur 9. Timvisa inkomstelasticiteter för uppvärmning. Källa: Vesterberg (2016).



främst används under morgnar och eftermiddagar (åtminstone under arbetsdagar, när hushållet inte är hemma mitt på dagen), är det rimligt att förvänta sig att inkomstelasticiteter varierar mellan timmar, med en högre inkomstelasticitet under morgon och kväll än mitt på dagen. Detta är också vad Vesterberg (2016) visar, se figur 7 där inkomstelasticiteten mäts på den vertikala axeln och timmar på den horisontella axeln. Den skuggade ytan beskriver ett 95-procentigt konfidensintervall⁸. Resultaten är liknande för belysning; när hushållet är på arbetet eller i skolan, eller sover, finns det ingen anledning att använda mer el till belysning, även om hushållet har råd, se figur 8. Däremot är de timvisa inkomstelasticiteterna för uppvärmning statistiskt insignifikanta för alla timmar, vilket illustreras i figur 9. En förklaring till detta skulle kunna vara att när hushållet har uppnått en behaglig inomhustemperatur finns ingen anledning att ytterligare öka uppvärmningen, oberoende av inkomstnivå. Figur 9 ska tolkas som hur elanvändning för uppvärmning ändras med inkomst, givet boyta och uppvärmningssystem. Det vill säga, resultaten kan förstås som en jämförelse av elanvändning för uppvärmning mellan hushåll med samma uppvärmningssystem och boyta, men där inkomsten för vissa hushåll är högre. Rimligen har hushåll med högre inkomst också större boyta, och förbrukar därför mer el till uppvärmning än hushåll med lägre inkomster, men denna effekt sker indirekt via större boyta.

8. Konfidensintervall beskriver här osäkerheten i mätningar av inkomstelasticiteten. Vid upprepade stickprov kommer ett 95-procentigt konfidensintervall att innehålla den sanna inkomstelasticiteten (i populationen) vid 95 procent av stickproven.

Efterfrågefleksibilitet

DETTA KAPITEL BESKRIVER varför det finns ett behov av efterfrågefleksibilitet, hur hushåll kan bidra med efterfrågefleksibilitet, och hur stora samhällsekonomiska vinster en ökad efterfrågefleksibilitet kan leda till. Kapitlet beskriver också vilket empiriskt stöd det finns för efterfrågefleksibilitet.

Varför behövs efterfrågefleksibilitet?

Historiskt sett har efterfrågetoppar varit ett relativt litet problem eftersom produktionen relativt enkelt har kunnat anpassas till rådande efterfrågan. Problemen med höga kostnader för att täcka efterfrågan i höglasstimmor har visserligen diskuterats tidigare, men i praktiken har inte nödvändig teknologi för att skapa möjligheter och monetära incitament för konsumenter att minska sin förbrukning i höglasstimmor (t.ex. mätutrustning) varit tillgänglig. Det traditionella sättet att möta variationer i efterfrågan har istället varit genom att anpassa produktionen från kärnkraft och vattenkraft. Begränsade möjligheter till fortsatt utbyggnad av vattenkraft, en utfasning av kärnkraft och reservkraft, och en ökad andel intermittent produktion kan dock komma att förändra situationen radikalt. För vad gör vi om det inte blåser och om inte solen skiner när efterfrågan är stor, och vad blir konsekvenserna?

Det grundläggande problemet är att el inte kan lagras på ett billigt sätt. Även om Sverige idag kan lagra energi i kraftverksdammar, och även om batterier blir allt billigare, så innebär restriktioner på utbyggnad av vattenkraft och det än så länge höga priset på batterier, att möjligheterna till lagring av el är begränsade. Det måste i varje tidpunkt därför produceras lika mycket el som det konsumeras, och denna el måste också kunna transporteras från produktionsanläggningarna till konsumenterna. Det vill säga, efterfrågan på el måste vara lika med utbudet på el.

Att bygga ut produktionskapaciteten för att möta stigande efterfrågan blir väldigt dyrt. För att ge en uppfattning om storleksordningen på sådana investeringar kan nämnas att genomsnittskostnaden för nyinvestering i kärnkraft för de fyra pågående projekten i EU (Olkiluoto 3 och Hanhikivi 1 i Finland, Flamanville i Frankrike och Hinkley Point C i England som just ska byggstartas) beräknas till ungefär 55 000 SEK/kW. För nybyggnation av vattenkraft är kostnaden lägre; 20 000–25 000 SEK/kW (men i detta fall finns andra begränsningar för fortsatt utbyggnad), och för vind- och solkraft är kostnaden ungefär 12 000 SEK/kW (Energikommissionen, 2015). Liknande investeringskostnader presenteras i Nohlgren m.fl. (2014) och i Kopsakangas-Savolainen och Svento (2012).

Om efterfrågan är hög, och/eller utbudet är litet, så innebär det att utbud och efterfrågan möts vid ett högre jämviktspris. Elen blir helt enkelt dyr. Detta illustreras i figur 10, där efterfrågekurvan har skiftat åt höger och utbudskurvan har skiftat åt vänster. I den enklaste av modeller slutar konsekvenserna där; det blir inget strömavbrott och alla kan konsumera så mycket el som de är beredda att betala för. Säger man vill om höga elpriser, men ur ett samhällsekonomiskt välfärds-perspektiv finns det ingen annan skärningspunkt mellan utbuds- och efterfrågekurva som ger upphov till större välfärd än en sådan jämviktslösning. Ett vanligt sätt att kvantifiera välfärd är med hjälp av konsument- och producentöverskott. Konsumentöverskott är skillnaden mellan vad hushållen maximalt är beredda att betala för en given mängd el och vad de faktiskt betalar. Producentöverskottet är skillnaden mellan vad konsumenterna betalar för en given mängd el och hur mycket det kostar att producera den mängden el. Summan av konsument- och producentöverskott är som störst där efterfrågekurvan skär utbudskurvan, och detta gäller oavsett vad jämviktspriset är.

Hög efterfrågan och litet utbud kan dock leda till situationer som inte är optimala ur ett välfärds-perspektiv. Antag till exempel att hushållen inte möter priser som speglar denna knapphet på el, och därför saknar monetära incitament att flytta sin förbrukning. Detta är åtminstone på kort sikt fallet för de flesta hushåll i Sverige idag, eftersom en majoritet av hushållen har elavtal där priset per kWh är konstant över tid (dvs. bundet elpris).⁹ Vad leder då detta till?

I figur 11 har jag ritat in två efterfrågekurvor, där den vänstra illustrerar efterfrågan under exempelvis arbetstid och den högra illustrerar efterfrågan på eftermiddagar och kvällar, när hushållen är hemma. När efterfrågan är hög är jämviktspriset på elmarknaden högre, medan priset är lägre när efterfrågan är låg. Antag att hushållen av någon anledning inte möter dessa priser, utan istället betalar genomsnittet av de två priserna. I detta fall saknar hushållen incitament att anpassa förbruk-

9. Historiskt har detta framför allt berott på avsaknad av mätutrustning som kan mäta förbrukning per timme. Idag kanske det mer handlar om att hushåll vill försäkra sig mot pristopp, eller att de helt enkelt saknar information om timprisavtal. Vi återkommer till den sistnämnda förklaringen.

ningen efter tillgängligheten på el i den givna timmen. När efterfrågan är låg konsumerar hushåll »för lite« el, och vid hög efterfrågan konsumerar kunderna »för mycket« (jämfört med hur mycket de skulle förbruka om de mötte det pris som speglar marginalkostnaden för el, det vill säga det pris där efterfrågekurvan skär utbudskurvan). Detta resulterar i att utbud och efterfrågan inte möts och en bristsituation uppstår – för det priset är producenterna inte beredda att producera så mycket el som efterfrågas.

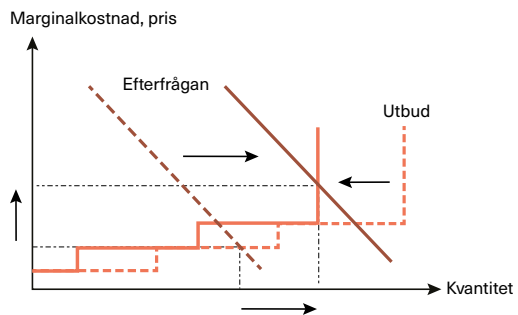
Om knappheten på el består över längre tid så är det rimligt att tro att priserna på lång sikt ändras och speglar detta, men på kort sikt kommer inte detta att vara fallet med dagens elavtal. I den bemärkelsen kan man se marknaden som uppdelad i tidsdimension; på kort sikt är efterfrågan i princip helt okänslig för knappheter på elmarknaden och eventuella obalanser får hanteras av utbudssidan, men på lång sikt anpassar sig efterfrågan åtminstone till viss del efter knappheter. Detta får så klart konsekvenser för en elmarknad som karakteriseras av en ökande andel intermittent elproduktion.

Ett annat exempel på när konsekvenserna av hög efterfrågan och lågt utbud leder till välfärdsförluster är om det finns ett tak för hur högt priset kan bli (Petitet m.fl., 2017). Detta skulle kunna vara ett resultat av att man från politiskt håll vill »skydda« konsumenter mot alltför höga elpriser (Stoft, 2002). Om efterfrågan är hög och/eller utbudet litet så kan i sådana fall en situation uppstå där producenter inte vill producera tillräckligt mycket el till ett givet pris, vilket då resulterar i ransonering eller strömavbrott, med potentiellt stora samhällsekonomiska konsekvenser. Ett sådant scenario är beskrivet i figur 12, där den streckade horisontella linjen representerar pristaket. Vid detta pris efterfrågas mer el än vad elproducenter är beredda att producera. Det finns helt enkelt inte tillräckligt med el för att möta efterfrågan.

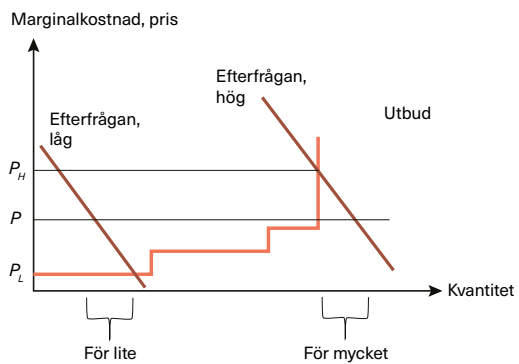
Ransonering och strömavbrott, som riskerar att uppstå i sådana situationer, leder så klart till stora nyttoförluster för hushållen som därmed inte längre kan använda så mycket el som de önskar för uppvärmning, belysning och matlagning. Denna nyttoförlust kan värderas i termer av till exempel minskat konsumentöverskott, och även om exakta siffror för kostnaden vid strömavbrott saknas så visar de flesta studier på att de är betydande, och varierar mellan 0 och 500 kr/kWh för hushållskunder och 50 och 2 500 kr/kWh för kommersiella kunder. Se exempelvis Carlsson m.fl. (2011) samt Schröder och Kuckshinrichs (2015).

Sverige har ett »implicit« pristak genom den effektreserv som Svenska kraftnät upphandlat, och som är tänkt att användas i situationer där elsystemet är ansträngt. Det har länge pratats om att fasa ut denna effektreserv, men än så länge (vintern 2019/2020) upphandlar Svenska kraftnät fortfarande reservkraft (Svenska kraftnät, 2019). Sedan början av

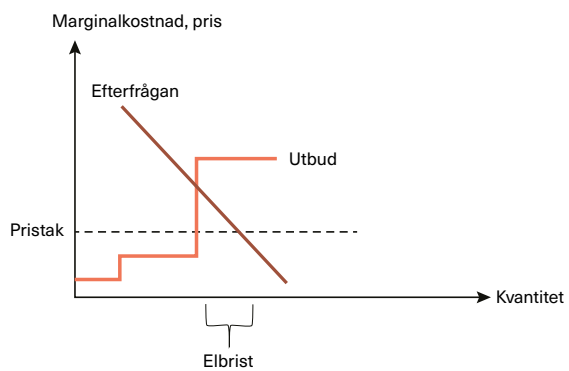
Figur 10. Ökad efterfrågan och minskat utbud.



Figur 11. Efterfrågan i relation till utbud vid fast pris.



Figur 12. Konsekvenserna av pristak.



1980-talet har denna reservkraft utgjorts av Karlshamnsverket som är ett oljeeldat kraftverk med en total effekt på 662 MW. Denna effektreserv aktiveras vid en i förväg specificerad prisnivå och håller då nere priset (eftersom utbudet på el ökar). Priset kan alltså inte stiga över denna specificerade nivå, det vill säga ett pristak har skapats (Bergman, 2017). Ett sådant pristak innebär att även vid hög efterfrågan finns det en risk att de traditionella kraftslagen inte kan täcka sina kostnader om priset inte tillåts stiga tillräckligt mycket. På en marknad där det däremot saknas pristak kommer förväntningar om väldigt höga priser att skapa incitament att investera i produktionsteknologi, även om denna produktionskapacitet endast kommer till användning under ett fåtal timmar. Om marknadsaktörer inte tror att priset kommer tillåtas stiga till höga nivåer så kommer incitamenten att investera i produktionskapacitet att minska eller helt utebli. Detta brukar i den nationalekonomiska litteraturen beskrivas med den engelska termen »the missing money problem»; den förväntade vinsten för traditionella produktionsslag är inte tillräcklig (»det saknas pengar») för att motivera investeringar i sådana produktionsslag (se t.ex. Joskow, 2008).

Problemen med små incitament för att investera i produktionskapacitet för ansträngda situationer kan växa ytterligare om samhället subventionerar specifika kraftslag, till exempel vindkraft (vilket Sverige gör idag för att möta klimat- och energimålen). Eftersom den subventionerade vindkraften har en väldigt låg marginalkostnad (dvs. den hamnar längst till vänster i utbudskurvan) så konkurrerar vindkraften ut traditionella produktionsslag med högre marginalkostnader (Bergman, 2017; Sensfuss m.fl., 2008). Det är värt att påpeka att detta kan vara fallet även i mindre ansträngda situationer, där subventionerade kraftverk med låga marginalkostnader konkurrerar ut icke-subventionerade kraftverk.

Behovet av efterfrågeflexibilitet blir extra tydligt i en schematisk skiss över utbud och efterfrågan på elnät, se figur 13. För enkelhetens skull antar vi att marginalkostnaden för elnät är konstant. På kort sikt är installerad kapacitet i överföring av el given, motsvarande längden på det horisontella segmentet av utbudskurvan. Värt att notera är också att utbudet av elnät, till skillnad från utbudet av el, inte skiftar på kort sikt, eftersom utbudet av elnät inte är väderberoende. När efterfrågan på elnät (eller överföring av el) ökar når marknaden till slut en punkt där priset stiger men all kapacitet är utnyttjad (det vertikala segmentet på utbudskurvan) – det finns alltså ingen ledig kapacitet för nya anslutningar. Även om stigande priser på lång sikt skulle skapa incitament till investeringar i ökad överföringskapacitet så finns det på kort sikt bara en given mängd installerad kapacitet.

Redan idag kan vi se tecken på ansträngda situationer på den svenska elmarknaden när det gäller kapaciteten i våra el-

nät. Även om Sverige idag är nettoexportör av el så kan vi läsa om anslutningsstopp i storstadsregioner. Det saknas helt enkelt tillräcklig överföringskapacitet och/eller lokal produktionskapacitet för att kunna ansluta exempelvis bostäder, serverhallar och batterifabriker, något som drabbar både hushåll och näringslivet. Att investera i ökad produktion och överföringskapacitet är dyrt och tar lång tid. De nuvarande totala investeringskostnaderna i elnät uppgår till ungefär 80 miljoner kr per år, och kommer rimligtvis att öka i framtiden för att förbättra nuvarande effektsituation (IVA, 2016). Det är därför relevant att utforska alternativ till sådana investeringar.

Det är i skenet av pristak, effektreserver, priser som inte reflekterar kortsiktiga variationer i tillgängligheten på el samt dyra investeringskostnader som efterfrågefleksibilitet ska förstås (Keppler, 2017). Utmaningen består i att klara av att möta en ökande efterfrågan och kunna balansera en ökande andel förnyelsebar/intermittent elproduktion, och samtidigt undvika höga elpriser och strömavbrott. För att klara detta krävs antingen stora investeringar i elnät och elproduktion (vilket är dyrt och tar tid) eller så måste existerande anläggningar nyttjas på ett mer effektivt sätt, exempelvis genom att efterfrågan anpassas sig (mer eller bättre) efter tillgängligheten på el och överföring av el (se t.ex. Kwoka & Madjarov, 2007 och Powercircle, 2018).¹⁰

Aktiva hushåll

Ett alternativ till investeringar i produktion och överföring av el är aktiva konsumenter. På senare tid har beslutsfattare och politiker i allt större utsträckning uppmärksammat möjligheten att få hushåll att anpassa sig till de knappheter som tidvis uppstår i elsystemet. Sådan efterfrågefleksibilitet, i form av aktiva hushåll som tillhandahåller elsystemtjänster genom att anpassa sin elförbrukning efter tillgången på el, har potential att spela en viktig roll på framtidens elmarknader, både när det gäller att jämna ut förbrukning och att möjliggöra en större andel förnyelsebar energi. Man kan säga att avregleringen, tillsammans med teknikutvecklingen, har skapat möjligheter för efterfrågefleksibilitet, och den ambitiösa klimat- och energipolitiken har skapat ett behov av aktiva konsumenter.

Grundtanken är att hushåll kan anpassa sin elanvändning genom att minska sin förbrukning under timmar när det råder knapphet på el eller överföringskapacitet (dvs. i höglasttimmar), och istället konsumera mer i timmar när tillgängligheten på el är stor (dvs. låglasttimmar). Ett hushåll skulle exempelvis kunna passa på att ladda sin elbil om det blåser mycket på natten, istället för att göra detta när det är stiltje. Analogin för efterfrågefleksibilitet för elnät skulle kunna vara att ett hushåll använder mindre el under de timmar då det råder trängsel i

10. Vissa menar att kapacitetsproblemen beror på att den nordiska elmarknaden är en "energy only"-marknad; det vill säga, producenter får betalt för den energi som de producerar, men får inte betalt för att ha extra kapacitet redo för ansträngda situationer. Alternativet till detta är att istället ha en kapacitetsmarknad, där producenter blir kompenserade för installerad kapacitet.

elnätet. I teorin skulle efterfrågeflexibilitet inte behöva innebära mindre total förbrukning under ett dygn eller en månad, eftersom hushållen skulle kunna flytta sin förbrukning utan att behöva minska den. Detta illustreras i figur 14, där ett hypotetiskt hushåll flyttar sin förbrukning från eftermiddagstoppen (det ljusa fältet) och sprider ut denna förbrukning under dagtid och kväll (de mörkare fälten).

I figur 15 visas samma exempel, men i termer av utbud och efterfrågan. Om vi går från ett konstant pris (P) till priser som varierar mellan höglasttimmar och låglasttimmar (P_H och P_L), så skulle konsumtion i höglasttimmar minska (eftersom priset stiger från P till P_H), och konsumtion i låglasttimmar öka (eftersom priset sjunker från P till P_L).

Ett stort steg mot efterfrågeflexibilitet togs 2012 då man bestämde att alla hushåll i Sverige *har rätt* till timmätning¹¹ av sin elförbrukning, utan att själva behöva betala för installation av nödvändig mätutrustning (§3 kapitel II i ellagen). Timmätning brukar ses som en nödvändighet för att kunna tillhandahålla marknadslösningar för efterfrågeflexibilitet, som till exempel timprisavtal med priser som varierar mellan timmar och på så sätt reflekterar variationer i tillgängligheten på el (se t.ex. Energimarknadsinspektionen, 2010). I praktiken har timprisavtal alltså varit tillgängliga för hushållskunder i Sverige sedan 2012, men hushållens intresse för sådana avtal har än så länge varit svalt (se sidan 40 i denna rapport).

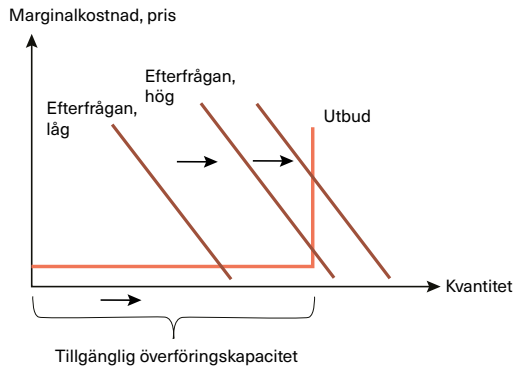
Sverige är ett av få länder som har infört en lag som möjliggör timprisavtal på el, men nya direktiv från CEER – som är ett samarbete mellan reglerande myndigheter inom EU – anger att alla elbolag inom EU med fler än 200 000 kunder i framtiden måste erbjuda timprisavtal (eller avtal med ännu högre prisupplösning, exempelvis priser som varierar var 15:e minut). Se CEER (2020).

Samhällsekonomiska vinster av efterfrågeflexibilitet

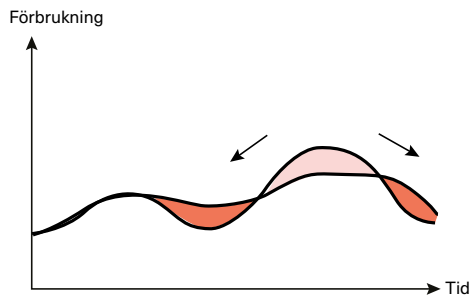
En rad studier har visat att införandet av timprisavtal kan medföra betydande samhällsekonomiska vinster, men då timprisavtal fortfarande inte är särskilt utbredda så bygger många av dessa resultat på teoretiska modeller och prognoser. Borenstein (2005) samt Kopsakangas-Savolainen och Svento (2012) visar med hjälp av numeriska simuleringsmodeller hur timprissättning på el skulle kunna leda till minskade kostnader. Dessa effektiviseringsvinster sker framför allt genom att behovet av dyr produktionskapacitet för att möta efterfrågetoppar minskar och ersätts med efterfrågeflexibilitet. Den senare studien, som fokuserar på den nordiska elmarknaden, visar till exempel att det räcker med att endast en relativt liten andel av konsumenterna bidrar med efterfrågeflexibilitet för

11. Det vill säga förbrukningen mäts och registreras per timma, till skillnad från traditionell mätning där endast total förbrukning under en månad mäts och registreras.

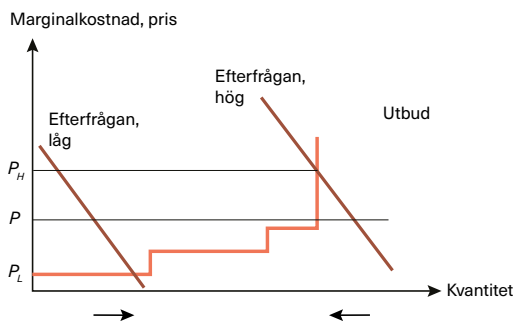
Figur 13. Utbud och efterfrågan på elnät.



Figur 14. Flytt av förbrukning.



Figur 15. Timprissättning och flytt av förbrukning över tid.



att behovet av toppkapacitet ska minska med uppemot 100 miljoner euro. Detta gäller även om hushållens priskänslighet är relativt liten (Kopsakangas-Savolainen & Svento, 2012). Värt att notera är att dessa modeller inte inkluderar elnät, vilket skulle kunna innebära att de underskattar de samhälls-ekonomiska vinsterna av efterfrågeflexibilitet.

En lika positiv bild ges i Energimarknadsinspektionen (2010, 2016), där myndigheten argumenterar för att aktiva hushållskunder (i dessa rapporter är fokus på eluppvärmda småhus) är en »central förutsättning för en väl fungerande elmarknad«, och att en ökad flexibilitet hos hushållskunder dessutom kan vara gynnsamt ur ett miljö- och klimatperspektiv. I sin kostnads- och intäktsanalys räknar myndigheten fram den ekonomiska samhällsnyttan till 1 541 miljoner kr, vilket är i linje med de siffror som presenteras i Kopsakangas-Savolainen och Svento (2012). Energimarknadsinspektionen (2010) belyser dock den eventuella problematiken med att fokusera på eluppvärmda villor, eftersom potentialen för flytt av last därmed blir säsong- och väderberoende. Exempelvis skulle det inte finnas så mycket flyttbar förbrukning vid varmt väder, eftersom uppvärmningssystem i sådana situationer inte förbrukar särskilt mycket el. Å andra sidan är behovet av efterfrågeflexibilitet kanske som störst vid ansträngda situationer, vilket brukar inträffa vid kalla temperaturer.

I sina rapporter lyfter Energimarknadsinspektionen även fram att en ökad efterfrågeflexibilitet kan gynna lokala nätägare som idag måste köpa el från överliggande nät (regionnät eller stamnätet) när den lokala produktionen inte räcker till för att täcka den lokala effektefterfrågan. Kostnaden för detta utgörs bland annat av en rörlig avgift som baseras på det lokala nätets effektbehov (dvs. den högsta effektefterfrågan som förväntas under året). Den lokala nätägarens kostnader minskar således i den mån ökad efterfrågeflexibilitet kan reducera dennes effektbehov. Dessutom kan investeringar i ökad kapacitet till viss del undvikas – eller i alla fall skjutas på framtiden – om en ökad efterfrågeflexibilitet medför att den befintliga infrastrukturen kan användas mer effektivt.

Idén om att skapa incitament för efterfrågeflexibilitet genom att låta priserna reflektera tillgången på el är dock inget nytt. Redan på 1960- och 1970-talen argumenterade forskare för »peak-load pricing« som ett styrmedel för att effektivisera elförbrukningen (se t.ex. Boiteux, 1960 och Wenders, 1976). En andra våg av intresse för efterfrågeflexibilitet uppstod 20 år senare, i samband med elkrisen i Kalifornien (se t.ex. Faruqui & George, 2005 och Herter m.fl., 2007). I Sverige har Vattenfall tidigare erbjudit så kallad natt-taxa, vilket innebar lägre elpris på natten, men det är oklart vilket genomslag dessa tariffer fick.¹² Under denna tid var fokus snarare att minska efterfrågetoppar än att möjliggöra en större andel förnyelsebar energi, men under de senaste tio åren har återigen efter-

12. Jag har tyvärr inte hittat någon akademisk studie som analyserar detta, men enligt <https://www.svd.se/slut-med-billigare-el-under-natten> hade uppemot 90 000 hushåll valt sådana elavtal fram till 2008, vilket får ses som en betydande andel av de svenska hushållen.

frågeflexibilitet hamnat i rampljuset som ett sätt att möta de delvis nya utmaningar som det svenska elsystemet står inför.

Ett flertal rapporter diskuterar hur stor den tekniska potentialen är, det vill säga hur mycket efterfrågeflexibilitet hushållen kan tänkas bidra med ur ett tekniskt perspektiv. Hur mycket av denna potential som faktiskt realiseras beror i sin tur på en rad andra faktorer, inklusive beteende och incitament. I Energimarknadsinspektionens rapport (2016) uppskattas att landets eluppvärmda villor under vintermånader kan bidra med effektreduktioner motsvarande 5 500 MW per år, medan NEPP (2016) uppskattar denna kvantitet till 2 000 MW. I båda dessa studier definieras den tekniska potentialen som den förbrukning av el som används för värmepumpar, och som kan flyttas över tid utan att leda till noterbara förändringar i inomhustemperatur. En sammanställning av metod och resultat återges i Söder m.fl. (2018). Dessa siffror kan jämföras med de 904 MW som det numera avstängda Ringhals 2 producerade, vilket tyder på en betydande teknisk potential för efterfrågeflexibilitet. Dock bör dessa siffror tolkas med viss försiktighet då de förutsätter att hushållen har investerat i automatiserad styrutrustning. Resultaten baseras också på simuleringar utifrån små pilotprojekt, inte på faktiska förbrukningsreduktioner för ett större urval hushåll.

Både företag och hushåll kan bidra med efterfrågeflexibilitet, men många menar att potentialen är som störst hos hushållskunderna. Exempelvis menar Energimarknadsinspektionen (2016) att den elintensiva industrin kan bidra med 1 700 MW, att jämföra med tidigare nämnda siffra för hushållen på upp till 5 500 MW. Flera aktörer inom den elintensiva industrin är dessutom redan idag aktiva¹³, medan hushållskundernas flexibilitet är en nästintill helt outnyttjad resurs (Energimarknadsinspektionen, 2016). Dessutom visar litteraturöversikten i Söder m.fl. (2018) att den tekniska potentialen för efterfrågeflexibilitet hos butiker, kontor och skolor är liten, jämfört med hushåll och industrier, se tabell 1 nedan.

Leder efterfrågeflexibilitet till mindre utsläpp?

Är efterfrågeflexibilitet nödvändigtvis grön? Denna fråga kan tyckas märklig, då det förefaller rimligt att efterfrågeflexibilitet kan möjliggöra en större andel förnyelsebar energi. Dock finns det studier som visar på att flytt av last faktiskt kan innebära ökade utsläpp på kort sikt (dvs. givet redan installerad produktionskapacitet), och att detta beror på produktionsmixen. Holland och Mansur (2008) visar att timprissättning på el i delstater i USA – där efterfrågetoppar möts av fossil energi – leder till lägre utsläpp, medan utsläppen ökar i delstater där dessa efterfrågetoppar möts av till exempel vattenkraft. Även

13. Exempelvis visar en enkätundersökning från Sweco (2016) att 5 av 66 respondenter inom den elintensiva industrin har möjligheter att vara flexibla i sin elanvändning, och att den efterfrågeflexibilitet från industrin som finns idag tillhandahålls av de allra största och mest elintensiva företagen från detta segment. Dessa företag tillhandahåller flexibilitet genom att anpassa sin förbrukning efter elpriset, sälja flexibilitet på Elspot eller reglerkraftmarknaden, eller/och genom delta-gande i effektreserven.

Tabell 1. Den tekniska potentialen för efterfrågeflexibilitet i Sverige.
Källa: Söder m.fl. (2018).

Nummer	Kundtyp	Potentiell efterfrågeflexibilitet (MW)	Andel av aggregerad efterfrågan i höglasttimmar (%)
1	Industri	1 900–2 300	7–8,5
2	Villaägare med eluppvärmning	2 000–5 000	7,4–20,4
3	Köpcenter	40–50	0,15–0,19
4	Kontor	140	0,5
5	Skolor	10–20	0,04–0,07
	Totalt	4 000–7 600	14,8–28,1

Karimu m.fl. (2020) och Zivin m.fl. (2014) visar på liknande resultat, och båda dessa studier menar att ökningarna i låglasttimmar kan motverka effekter i höglasttimmar.

Å andra sidan visar Allcott (2011a) att timprissättning i Kalifornien leder till något lägre utsläpp, men att denna effekt främst beror på en minskad total elförbrukning. Tyvärr saknas forskning kring effekterna av efterfrågeflexibilitet när det gäller utsläpp för Sverige. Även om den mesta elen som produceras i Sverige inte är associerad med särskilt stora utsläpp av koldioxid så kan utsläppen från importerad el vara betydande. För att förstå effekterna på utsläpp krävs därför en elmarknadsmodell som inkluderar handel med el, och så vitt jag vet finns det ingen sådan studie med avseende på den svenska elmarknaden.

Empiriska evidens för efterfrågeflexibilitet

Även om prisdriven efterfrågeflexibilitet främst studerats med hjälp av teoretiska modeller eller simuleringsmodeller så har det även genomförts en rad pilotprogram, där man empiriskt utvärderat effekterna av olika former av tidsvarierande elpriser på förbrukningsmönster. En metastudie av ett flertal sådana experiment i USA presenteras i Faruqui m.fl. (2017), där 337 olika tariffer från 63 pilotprogram studeras. De flesta av dessa studier visar på att hushållen reagerar på tidsdifferentierade elpriser genom att minska sin förbrukning i höglasttimmar, men i vilken utsträckning detta sker skiljer sig åt markant mellan de olika studierna. I vissa fall reducerar hushållen sin förbrukning i höglasttimmar med upp till 50 procent, medan effekterna i andra studier ligger på bara någon enstaka procent. Detta kan bero på en rad olika faktorer, som till exempel hur avtalen är utformade och i vilken kontext som avtalen har införts.

Ett problem med experiment och pilotstudier som dessa är att i många fall sker deltagande frivilligt (till skillnad från en slumpmässig tilldelning av olika elprisavtal), vilket riskerar resultera i att främst hushåll som redan är intresserade och medvetna om sin elförbrukning attraheras att delta. Det är rimligt att anta att dessa hushåll kan tänka sig att bidra med mer flexibilitet, och till en lägre kostnad, än genomsnittshushållen. Av de 63 studerade pilotstudierna i Faruqui m.fl. (2017) bygger 84 procent på frivilligt deltagande, vilket gör det svårt att generalisera dessa resultat till den bredare populationen. De pilotstudier som är gjorda i Sverige lider av samma problem, exempelvis Lindsoug (2006) och Fritz m.fl. (2013) som båda visar på betydande flexibilitet hos hushållskunder.

Det finns dock några intressanta undantag, där deltagande i prissättningsexperiment inte varit frivilligt. Exempelvis studerar Lanot och Vesterberg (2020) hur svenska hushåll reagerar på så kallade effekttariffer, vilket är en typ av elnätstariffer där hushållen bara betalar för timmarna mellan klockan 7 och 19 på vardagar med högst förbrukning.¹⁴ Effekttarifferna ger således incitament att flytta förbrukning från dagtid till kvällar och helger, och att jämna ut förbrukningen under dagtid, och incitamenten är dessutom stora. Mellan klockan 7 och 19 kostar en extra kWh i förbrukning upp till 33 kronor, medan hushållen bara betalar för elhandel på natten (mindre än en krona per kWh), så kostnadsbesparingarna i att flytta förbrukning från dag till natt är betydande.¹⁵ De studerade effekttarifferna har implementerats av ett par elnätsbolag i Sverige, men kunderna har i dessa fall inte själva valt sådana avtal utan fått dem tilldelade av respektive elnätsföretag. Resultaten från denna studie visar dock att hushållens respons på dessa incitament är mycket små i förhållande till de prissignaler de möter. Allcott (2011a), Bartusch och Alvehag (2014) och Bartusch m.fl. (2011) visar på liknande resultat.

14. Värt att notera är att tariffen inte nödvändigtvis speglar belastningen i elnätet, utan baseras på det individuella hushållets förbrukning. Därför är sådana tariffer inte med nödvändighet till gagn för elsystemet. Där emot innebär de ett intressant experiment för att förstå hur hushåll reagerar på tidsdifferenterade elpriset.
15. Hushåll kan med denna tariff också minska sina elkostnader genom att jämna ut förbrukningen under dagen, men då tariffen är relativt komplicerad (vilket kan vara ett problem i sig om hushållen inte förstår den), och framför allt då kostnadsbesparingen av en given åtgärd beror på hur mycket hushållet i fråga har konsumerat tidigare under månaden, är det svårt att uppge en exakt kostnadsbesparing. Se Lanot och Vesterberg (2020) för fler detaljer kring hur tariffen fungerar.

Svalt intresse för efterfrågeflexibilitet hos hushållen

HUSHÅLL I SVERIGE har sedan 2012 möjligheten att välja timprisavtal, och på så sätt få incitament att bidra med efterfrågeflexibilitet. Men även om det saknas färsk siffror på hur många hushåll som valt elavtal med timpriser, tyder mycket på att timprisavtal inte blivit den succé som många hoppades på. Endast drygt 9 000 av Sveriges 4 400 000 hushåll hade 2014 valt sådana avtal (Energimarknadsinspektionen, 2014).¹⁶ Liknande resultat visas i olika enkätundersökningar, till exempel i Broberg m.fl. (2017) där mindre än 40 procent angav att de ens visste om att hushåll kan välja elavtal med timpris, och ännu färre (mindre än 1 procent) hade sådana avtal vid tidpunkten för enkäten. Det kan knappast vara negativt att hushållen ges möjligheter att välja timprisavtal och det finns rimligen ett intresse för sådana avtal hos vissa kundgrupper – dock finns det inte mycket som talar för att genomsnittshushållet är särskilt intresserat av timprisavtal.¹⁷ På en avreglerad marknad kan inte heller hushåll tvingas till timprisavtal, och förutom att informera och upplysa allmänheten om vilka valmöjligheter som finns¹⁸ så kan inte myndigheter påverka utbredningen av timprisavtal. Även om man kunde tvinga hushåll till timprisavtal så finns dessutom den uppenbara risken att hushåll skulle vara villiga att betala för att försäkra sig mot prisvariation, på liknande sätt som hushåll försäkras mot variationer i till exempel bolåneräntor. I den bemärkelsen skulle det svala intresset för timprisavtal också kunna tolkas som ett stort intresse för försäkringar mot variation i elpriset.

Varför tycks då de flesta hushåll vara ointresserade av timprisavtal och efterfrågeflexibilitet? Om nu hushållen kan spara pengar utan att behöva minska sin totala elförbrukning, och om det dessutom skulle kunna leda till samhällsvinster, så förefaller väl det låga intresset ganska märkligt? Det finns dock flera faktorer som pekar på att det finns en rad begränsningar i hushållens möjligheter och önskan att bidra med efterfrågeflexibilitet. Ett grundläggande problem är att diskussionen

16. Detta kan jämföras med de prognoser som ges i Energimarknadsinspektionen (2010), där man uppskattar att 40 procent av alla hushåll kommer att ha valt timprisavtal till år 2030.

17. Å andra sidan visar Fritz m.fl. (2013) att om spridningen av timprisavtal blir alltför omfattande så blir den samhällsekonomiska effekten av efterfrågeflexibilitet negativ. Resultaten bygger på dagens marknadsmodell, vilket innebär att hushållen kan ändra sina beteenden efter det att spotpriset blivit känt. Detta leder till obalanser hos elleverantörerna som då i större utsträckning måste handla el på reglerkraftsmarknaderna, vilket medför kostnader. Man menar vidare att en ökad handel på reglerkraftsmarknaderna är oönskad eftersom det medför en risk att spotpriset på elmarknaden (Nord Pool) inte längre uppfattas som ett jämviktspris och därmed förlorar trovärdighet på de finansiella marknaderna.

18. Exempelvis genom Energimarknadsinspektionens informations-sida för elavtal www.elpriskollen.se

kring efterfrågeflexibilitet ofta bygger på aggregerade modeller, och i många sammanhang utgår från ett teknikcentrerat perspektiv, där den tekniska potentialen står i fokus och det individuella hushållets incitament, utmaningar och möjligheter glöms bort.

Framför allt bygger efterfrågeflexibilitet på att hushållen frivilligt anpassar sin förbrukning. Med tanke på det marknadsbaserade systemet på den svenska elmarknaden går det därmed inte att bortse från hushållets perspektiv, och en avgörande faktor för att förstå efterfrågeflexibilitetens möjligheter är att förstå vilka hinder och monetära incitament för efterfrågeflexibilitet som existerar på hushållsnivå. Dessutom spelar livsstil, attityder, värderingar och sociala normer också viktiga roller. Låt oss därför fundera kring vad det faktiskt skulle innebära för ett hushåll att bidra med efterfrågeflexibilitet genom att flytta sin förbrukning. Vad finns det för hinder för sådana åtgärder, och hur stora är de monetära incitamenten för det enskilda hushållet?

Begränsningar för hushållens flexibilitet

I de flesta av de tidigare nämnda studierna på samhällsvinster av efterfrågeflexibilitet antar författarna att hushållen reagerar lika mycket på ett pris, oavsett i vilken timme detta pris gäller (t.ex. Kopsakangas-Savolainen & Svento, 2012). Det vill säga, man antar att hushållen reagerar lika mycket på en prisförändring mitt på dagen, när hushållet i de flesta fall är på jobbet, som på natten när hushållet sover, eller på eftermiddagen när hushållet lagar middag. Detta förefaller osannolikt och väl optimistiskt. Det ter sig rimligare att anta att priskänsligheten varierar mellan timmar, och beror på vad hushållen använder elen till.

Till exempel kan det vara bra att påminna sig om att hushåll använder el till uppvärmning när det är kallt, till matlagning när de är hungriga och till belysning när det är mörkt ute. Att det förhåller sig så är en av flera viktiga poänger i den tidigare nämnda studien av Vesterberg och Krishnamurthy (2016), som visar hur intuitivt hushållens förbrukningsmönster är. Detta förefaller kanske självklart, men att det här också påverkar hushållens benägenhet att flytta sin förbrukning från dyra till billiga timmar glöms ofta bort i de teknikcentrerade diskussionerna kring efterfrågeflexibilitet. Människor är vanedjur, och om hushållen ska flytta förbrukning så innebär detta att de även måste ändra sina vanor (såvida inte styrutrustning och automatisering kan förenkla flytt av förbrukning, men där är vi inte idag – jag återkommer strax till detta). För hushållen innebär det därmed rimligen en nyttoförlust att avvika från dessa mönster. Med andra ord, det finns helt enkelt andra faktorer än elpriser som bestämmer förbrukningsmönster;

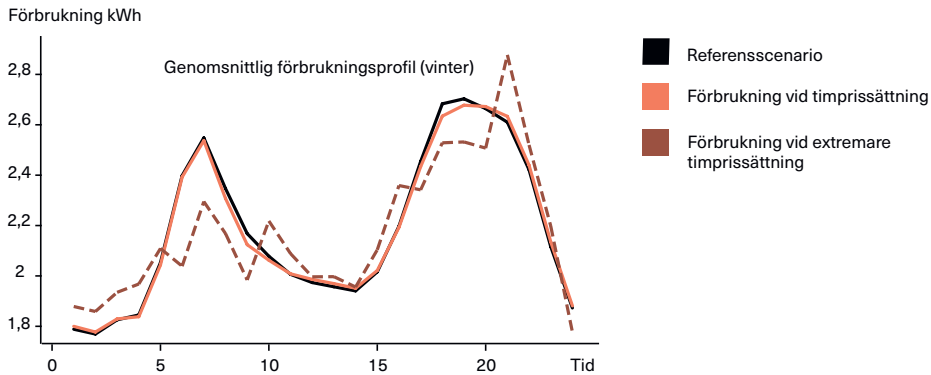
elförbrukningen följer våra levnadsmönster, vilket innebär begränsade möjligheter att omfördela elförbrukningen över tid, i alla fall på kort sikt.

För att knyta an till den tidigare nämnda efterfrågekurvan för el: i den enklaste modellen beror efterfrågan på el på priset, men i verkligheten kan vi tänka oss att en rad andra faktorer också inverkar på efterfrågan. Dels kan vi tänka oss att efterfrågekurvan skiftar med exempelvis inkomst, temperatur och tillgången på solljus, men det skulle också kunna vara så att priskänsligheten (dvs. priselasticiteten) varierar mellan timmar och beror på faktorer som till exempel tidpunkt på dagen. Även om detta kan låta uppenbart har de tidigare nämnda studierna på efterfrågeflexibilitet (Borenstein, 2005; Kopsakangas-Savolainen & Svento, 2012) inte lagt särskilt mycket vikt vid denna viktiga aspekt. Snarare bygger dessa studier på förenklande antaganden om hushållens möjligheter att anpassa förbrukningen efter el, som till exempel att hushållens priskänslighet är konstant över tid.

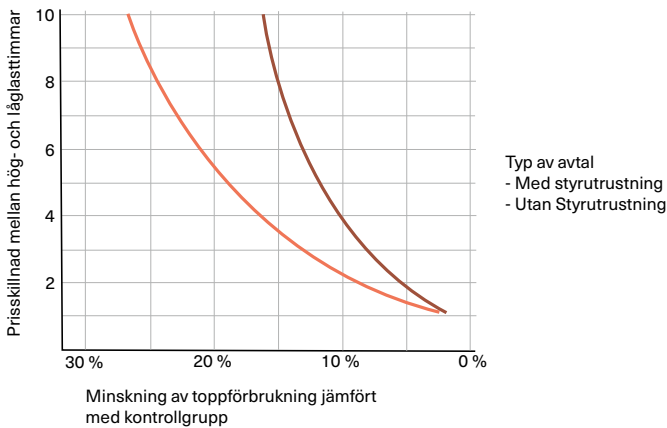
Rimligen är ett mer realistiskt antagande att priskänsligheten beror på både när hushållen använder el och vad de använder elen till, samt olika yttre faktorer. Exempelvis kan man tänka sig att hushållens priskänslighet är större för de timmar då de är hemma i sin bostad och faktiskt har möjlighet att påverka sin förbrukning. Å andra sidan är det kanske svårare att minska förbrukning kopplad till aktiviteter som matlagning och belysning, jämfört med stand-by-förbrukning, och i så fall kanske det är rimligt att tänka sig att hushållen är mer priskänsliga mitt på dagen och under natten. På liknande sätt kan man tänka sig att priskänsligheten beror på vad elen används till. Om priset är högt är det kanske lättare att släcka lampor när man lämnar ett rum, än vad det är att sänka inomhustemperaturen.

Med användning av tidigare nämnda data från Energimyndigheten och en flexibel ekonometrisk modell har Karimu m.fl. (2020) studerat hur priskänsligheten för hushåll boende i villa varierar över ett dygn. Deras modell bygger på det mer flexibla antagandet att nyttan från elkonsumention varierar mellan timmar, och att detta beror på vad elen används till. Modellen tar även hänsyn till hushållskaraktistika; ett hushåll där det bor pensionärer har förmodligen en annan förbrukningsprofil än ett hushåll som består av unga personer. Det är rimligt att tänka sig att dessa aspekter påverkar hur hushållen reagerar på prisförändringar, både med och utan timprisavtal. Det vill säga, även om hushållet har ett pris som är konstant över timmar (vilket är fallet i datamaterialet från Energimyndigheten) så kommer hushållet att reagera olika under olika timmar vid en prisförändring. Studien tar detta som utgångspunkt, och använder dessa insikter för att förstå hur förbrukningsmönster ändras när hushållen »chockas« med elpriser som varierar mellan timmar, givet det beteende

Figur 16. Förändring i förbrukningsmönster vid timprissättning.
Källa: Karimu m.fl. (2019).



Figur 17. Flytt av last med och utan automatisering. Källa: Faruqi m.fl. (2017).



som estimeras utifrån tillgängliga data. Resultaten visar på att hushållen är mer priskänsliga på natten än på dagen, och att priskänsligheten är som minst på eftermiddagen vid typiska middagstider.

Det faktum att hushållen är relativt prisokänsliga, i kombination med liten prisvariation mellan timmar, innebär att även om fler hushåll än idag skulle välja timprisavtal istället för traditionella elavtal, så finns det en risk att detta endast skulle få en väldigt liten effekt på elförbrukningen. Detta illustreras i figur 16 där den svarta kurvan är förbrukning när priser inte varierar mellan timmar, den orange kurvan är förbrukning med prisvariation mellan timmar baserat på dagens spotpris

och den streckade bruna kurvan motsvarar ett relativt extremt scenario där priser varierar betydligt mer än vad dagens spotpris gör.

AUTOMATISERING

Även om hushållens elförbrukning till stora delar styrs av faktorer som är svåra för dem att kontrollera så kan man tänka sig att investeringar i automatiserande utrustning (smarta hem) åtminstone kan minska de kostnader som är associerade med att flytta förbrukning över tid. Exempelvis kan en villaägare med vattenburen el investera i en ackumulatortank, i syfte att värma vatten när priset är lågt, eller så kan ett hushåll investera i programmerbara vitvaror och använda dessa då priset på el är lågt.

Faruqi m.fl. (2017) utnyttjar det faktum att vissa pilotprojekt och experiment i USA implementerats tillsammans med styrutrustning, och visar på hur ett hushåll med hjälp av vad de kallar möjliggörande teknik i genomsnitt minskar sin toppförbrukning med 5,4 procent, jämfört med hushållen utan sådan utrustning, och att denna skillnad ökar när prisskillnaden mellan hög- och låglasttimmar ökar. Detta illustreras i figur 17. De visar också att detta verkar gälla för alla typer av studerade prisavtal. Studien är dock inte särskilt detaljerad när det kommer till vilken typ av styrutrustning som faktiskt avses, men nämner åtminstone in-home displays, där hushållet kan få information om förbrukning och priser. Som jag påpekade tidigare så bygger denna metastudie i stor utsträckning på pilotprogram med frivilligt deltagande, och det är därför osäkert hur dessa resultat kan generaliseras till den övriga populationen.

Även batterier och annan typ av lagring skulle kunna förenkla flytt av förbrukning. Tyvärr är fortfarande sådan typ av teknologi ovanlig bland hushåll, och framför allt saknas det empiriska utvärderingar både av hushållens investeringsbeslut i sådan utrustning och hur denna typ av utrustning påverkar förbrukningsmönster. En viktig aspekt, som ofta glöms bort i dessa diskussioner, är just *investeringsbeslutet* att införskaffa till exempel styrutrustning eller lagring. Hushållen kommer rimligtvis att väga kostnadsbesparingar från flytt av förbrukning mot investeringskostnader för styrutrustning. Om plånboksbesparingarna av att anpassa förbrukning efter priser är små, så förefaller det orimligt att det genomsnittliga hushållet skulle investera i dyr lagringsutrustning, eller annat typ av »smart« utrustning. Dessvärre saknas empirisk forskning kring hushållens investeringar i sådan utrustning, rimligen på grund av att sådan teknologi är relativt ny.

Detta kan relateras till det så kallade *energieffektivitetsgapet*, där studier gång på gång har visat på hur hushåll avstår från investeringar i energieffektivitet (t.ex. tilläggsisolering eller mer energisnåla vitvaror), även om dessa investeringar i många fall

är lönsamma för hushållet på sikt (t.ex. Allcott & Greenstone, 2012; Blasch m.fl., 2017). Om hushållen inte investerar i till synes lönsam energieffektivitet så förefaller det osannolikt att de skulle investera i styrutrustning eller betydligt dyrare lagring.¹⁹ Det finns såvitt jag vet ingen tydlig sammanställning över kostnader för styrutrustning för att underlätta efterfrågeflexibilitet, men exempelvis kostar utrustning för att styra hushållsapparater via wifi ungefär 3 000 kr, vilket ska vägas mot de potentiella kostnadsbesparingarna från efterfrågeflexibilitet. Låt oss därför titta närmare på dessa kostnadsbesparingar.

19. Även om de flesta prognoser pratar om att priset på lagring kommer att sjunka så är det åtminstone inom den närmaste framtiden väldigt dyrt.

Små monetära incitament

Hela idén med prisdriven efterfrågeflexibilitet bygger på att hushållen kan spara pengar på att flytta förbrukningen från dyra till billiga timmar utan att nödvändigtvis minska sin totala förbrukning. Givet detta tänker man sig att hushåll frivilligt ska bidra med efterfrågeflexibilitet. Men rimligen kommer ett hushåll som står inför valet att bidra med efterfrågeflexibilitet att väga nyttor mot kostnader. Om nyttan av att bidra (t.ex. kostnadsbesparingar) är större än kostnaden att flytta förbrukning (t.ex. nyttoförlusten från att ändra vanor) så väljer hushållet att exempelvis skaffa ett timprisavtal och flytta förbrukning från dyra till billiga timmar. Men även om incitamenten är stora på aggregerad nivå, så kan incitamenten på hushållsnivå fortfarande vara för små för att hushållet ska vilja bidra med efterfrågeflexibilitet. Ett problem i de tidigare nämnda studierna på aggregerad nivå är att man inte beaktar vilka monetära incitament som det enskilda hushållet har; dels för att välja ett elavtal med priser som varierar mellan timmar, dels för att faktiskt flytta sin förbrukning från dyra till billiga timmar.

Vesterberg och Krishnamurthy (2016) har undersökt hur stora kostnadsbesparingarna är för ett genomsnittligt hushåll som flyttar hela förbrukningskurvan fem timmar framåt. De tidigare nämnda förbrukningsprofilerna användes som utgångspunkt. Deras resultat visar på väldigt små kostnadsbesparingar. Hushållen sparar mindre än 2 procent av den totala kostnaden under en genomsnittlig vinterdag om de flyttar förbrukningen fem timmar framåt, se tabell 2 där »Timmar flyttade« refererar till hur många timmar framåt förbrukningen flyttas. Tabellen visar även att de monetära incitamenten är något större om de högsta priserna för respektive timme används (»Med högsta pris«) istället för genomsnittspriser, men incitamenten är fortfarande relativt små. En så drastisk förändring av hushållets förbrukningsmönster är naturligtvis ett tämligen orimligt scenario, av flera anledningar. Att flytta förbrukningen fem timmar framåt innebär exempelvis att hushållet inte använder belysning på morgonen när det är mörkt ute, utan väntar till mitt på dagen, och att hushållet

Tabell 2. Procentuell kostnadsminskning av daglig kostnad för medianförbrukare, samt för stor- och småförbrukare (2016).

Med genomsnittligt pris			
Timmar framåt	Medianförbrukare	Storförbrukare	Småförbrukare
1	0,003	-0,15	0,42
2	0,313	0,148	1,294
3	0,77	0,768	2,29
4	1,22	1,35	3,182
5	1,58	1,82	3,96

Med mer extremt pris			
Timmar framåt	Medianförbrukare	Storförbrukare	Småförbrukare
1	0,186	-0,323	1,586
2	0,974	0,456	3,805
3	1,977	2,009	6,208
4	2,918	3,323	8,241
5	3,738	4,546	10,112

lagar middag klockan 22 på kvällen istället för klockan 17 på eftermiddagen.

När hushåll anpassar sin förbrukning efter priser, genom att minska konsumtionen när priset är högt och öka konsumtionen när priset är lågt, så får detta en utjämnande effekt på priset. Ju fler hushåll som väljer timprisavtal och anpassar sin förbrukning efter priserna, desto mindre blir alltså incitamenten för andra hushåll att göra detsamma. De kostnadsbesparingar som presenteras i tabell 2 bör därför ses som ett »bästa möjliga« utfall.

Det bör också poängteras att detta resultat bygger på att den totala förbrukningen hålls konstant. Ett mer realistiskt antagande är att hushåll kan reagera på timpris också genom att minska sin totala förbrukning. Allcott (2011a) presenterar resultat från en fältstudie i Chicago, med drygt 600 hushåll som själva valt timprisavtal. Allcott visar att om konsumenterna reagerar på prisförändringar så sker detta främst genom att de minskar sin förbrukning i höglästtimmar, men att få hushåll tar igen denna förbrukning i andra timmar. Timprissättning av el leder här alltså inte nödvändigtvis till flytt av förbrukning. Dessutom visar Allcott att kostnadsbesparingarna för ett enskilt hushåll i genomsnitt endast är 1–2 procent. Ett liknande resultat återfinns i Krishnamurthy m.fl. (2018), där författarna undersöker hur hushållens förbrukning ändras när de »chockas«²⁰ med elpriser som varierar mellan timmar. Deras resultat visar att förbrukningen minskar för det genomsnittliga hushållet med ungefär 10 procent, vilket visserligen leder till något större kostnadsbesparingar, men på bekostnad av en lägre förbrukning, och därmed lägre nytta från de tjänster som produceras med el som insatsfaktor.

20. De data som författarna använder för sin analys beskriver elförbrukning för hushåll som har traditionella elavtal. Deras analys kan därmed förstås som effekterna av att gå från månadspriser till timpriser, samtidigt som man konstanthåller betende.

Slutligen, det är viktigt att påpeka att i ovan nämnda studier beaktas endast prisvariation i elhandelspriset, vilket utgör ungefär hälften av den totala elkostnaden. Den andra hälften av kostnaden består av nätavgiften som är fast och oberoende av förbrukning. Man kan tänka sig att om även elnätspriset varierade över tid så skulle incitamenten kunna bli ännu större (Powercircle, 2018), men det är inte nödvändigtvis så att elhandelspriset och elnätspriser ger incitament som drar åt samma håll. Exempelvis skulle elhandelspriset kunna vara högt under typiska arbetstimmar eftersom industrins efterfrågan på el driver upp priset under dessa timmar, medan efterfrågan inom ett lokalt elnät är som störst efter arbetstid, när hushållen kommer hem efter jobbet. I detta exempel förstärks inte incitamenten i bemärkelsen att priserna är höga i en given timme, utan innebär snarare en längre period med relativt höga priser. Dessutom kan man tänka sig att den önskade situationen för en nätägare är en jämn belastning på nätet, medan det ur ett elhandelsperspektiv är fördelaktigt om förbrukningen anpassas efter variationer i tillgängligheten på producerad el. Tyvärr saknas forskning kring denna eventuella, och i så fall viktiga, målkonflikt.

Resultatet i Vesterberg och Krishnamurthy (2016) är förmodligen lite av en besvikelse för de som hoppats på prisdriven efterfrågefleksibilitet; det genomsnittliga hushållet sparar mindre än två kronor per dag. Det förefaller inte rimligt att särskilt många hushåll skulle göra stora förändringar av sitt förbrukningsmönster för så små kostnadsbesparingar. Det verkar inte heller särskilt troligt att en så liten kostnadsbesparing skulle kunna motivera investeringar i utrustning för att automatisera flytt av förbrukning.

Hur stora incitament krävs?

Uppenbarligen finns det begränsningar för flytt av last, och incitamenten är idag små för hushållen. Men, man skulle kunna hävda att en anpassningsförmåga trots detta finns, och att det är storleken på de ekonomiska incitamenten som bestämmer i vilken grad den kommer att aktiveras. Om bara incitamenten, i form av prisvariation, blir tillräckligt stora så kommer åtminstone vissa hushåll att välja elprisavtal med priser som varierar mellan timmar, och reagera på dessa prissignaler. En naturlig följdfråga blir: Hur stor måste prisvariationen i så fall vara? Vid vilken nivå på elpriset väljer vi att sänka temperaturen, släcka lampor och vänta med disk och tvätt? Svaret är rimligtvis att priset, eller kompensationskravet, för efterfrågefleksibilitet troligen är högt, och möjligen också varierar mellan olika energitjänster och hushåll.

Kompensationskravens storlek är dock svåra att uppskatta med hjälp av observationsdata, speciellt eftersom marknaden

för efterfrågeflexibilitet är relativt ny och tillförlitliga data på hushåll med timprisavtal saknas. Av denna anledning har denna fråga framför allt studerats genom enkätstudier. Inte minst så kallade valexperiment (efter engelskans »choice experiment«) har blivit populära för att studera hushållens preferenser när det gäller efterfrågeflexibilitet och de begränsningar i konsumtion som detta innebär. I sådana studier ställs respondenten inför en rad olika scenarier, alla beskrivna av olika attribut, där till exempel kompensationskrav är ett av dessa attribut. Även om ett sådant valexperiment innebär att respondenter presenteras för hypotetiska scenarier – som ofta kan förefalla relativt komplicerade och abstrakta – så har denna metod starkt stöd i den ekonomiska litteraturen, och har använts i stor utsträckning i liknande kontexter.

Exempel på sådana studier är Broberg m.fl. (2014) samt Broberg och Persson (2016), som med valexperiment visar att hushållens kompensationskrav för begränsningar i elanvändning²¹ uppgår till betydande belopp. De visar också att kompensationskraven varierar beroende på tid på dygnet, och vad begränsningen avser. För en begränsning av uppvärmning på kvällstid kräver hushåll i genomsnitt en årlig kompensation på 650 kr, och för begränsningar i hushållsel på kvällstid uppgår kompensationskravet till drygt 1 400 kr. På morgonen är kompensationskraven lägre, ungefär 800 kr för begränsning av hushållsel. Författarna föreslår att dessa skillnader skulle kunna bero på att vardagssysslor som tvätt och disk är viktigare än uppvärmning, och dessutom viktigast på kvällen när hushållet är hemma efter jobbet. Utslaget per dag blir det 5,50 kronor för att exempelvis skjuta på disk och tvätt och cirka 3,60 kronor för att sänka värmen, det vill säga nästan dubbelt så mycket som de incitament som idag finns för hushåll att göra detta (Vesterberg & Krishnamurthy, 2016). Liknande resultat för kompensationskrav återfinns i Daniel m.fl. (2018), Richter och Pollitt (2018) och Ruokamo m.fl. (2019).

21. Efterfrågeflexibilitet kan uppstå både genom att hushåll reagerar på prisvariationer och genom att hushållen förbinder sig att begränsa sin elanvändning under vissa timmar, mot att de erhåller en kompensation för detta. Det är den senare typen av efterfrågeflexibilitet som Broberg m.fl. (2014) samt Broberg och Persson (2016) studerar.

Betydelsen av att informationen når fram

Ett grundläggande antagande i många nationalekonomiska modeller är att beslutsfattare (t.ex. hushåll) har perfekt information. När det gäller hushållens elkonsumtion är detta inte en särskilt realistisk beskrivning av verkligheten. Du som läser detta, vet du exempelvis vad elpriset är just nu?

Vissa menar att den kanske viktigaste anledningen till att hushållen förefaller inaktiva är att elförbrukningen är »osynlig« och därför ges lite uppmärksamhet och vikt vid hushållens konsumtions- och investeringsbeslut. Detta gäller inte bara elförbrukningen, utan också priser. Å ena sidan visar exempelvis Sexton (2015) att autogiro på elräkningen leder till högre förbrukning, och förklarar detta med att hushåll underskattar

elpriser och därför förbrukar mycket el. Å andra sidan visar Kažukauskas och Broberg (2016) att många hushåll baserar sina konsumtionsval på bristande kunskap om kostnader, och att hushållen i många fall överskattar kostnaderna för elförbrukning.²² Exempelvis visar de att en majoritet (55 procent) av hushållen i deras undersökning inte vet vad elpriset är, och att 40 procent inte vet hur mycket el de förbrukar. När de frågar respondenterna vad de tror att det kostar att köra diskmaskinen under en timme varierar svaren betydligt, från 1 öre till 100 kronor. Anmärkningsvärt är också att 35 procent av hushållen inte önskar detaljerad information om sin tidigare elförbrukning, och att så många som 40 procent inte önskar detaljerad information om elkostnaden för att använda olika apparater. Liknande resultat återfinns i Broberg m.fl. (2017). Elen i Sverige är billig, säker och grön, så kanske är osynligheten något positivt från hushållens perspektiv? »Två hål i väggen«, som Vattenfall benämnde elkonsumtionen i en känd reklamfilm, kanske är en passande beskrivning?

Om hushållen saknar perfekt information om elpriser, eller helt saknar kunskap om vad elpriset är och hur det varierar över timmar, så kommer de inte heller att kunna reagera på prissignaler. Detta innebär att hela tanken med prisdriven efterfrågeflexibilitet, som ju bygger på att prissignaler är ett effektivt sätt att styra hushållens konsumtion, faller. Samtidigt visar ett flertal studier att information inte har någon större effekt på hushållens priskänslighet. Exempelvis visar Lanot och Vesterberg (2020) att de hushåll som ofta använder »Mina sidor« på elnätsföretagets hemsida, för att hålla koll på sin förbrukning, inte är mer priskänsliga än de som aldrig eller sällan använder »Mina sidor«. Liknande resultat återfinns i exempelvis Alberini m.fl. (2019).

NUDGING – KAN INFORMATION PÅVERKA ELKONSUMTIONEN?

»Nudging«²³ har på senare år seglat upp som en populär term när det gäller att styra beteenden. Inom ramen för konsumtion av el finns ett flertal studier där man undersöker sådana styrmedel. Ett intressant exempel är Kažukauskas m.fl. (2017) som genom ett fältexperiment studerat hur sociala normer påverkar elförbrukning. I detta experiment delgavs hushållen information om deras grannars elförbrukning via förinstallerade displayer som även visar hushållets egen förbrukning. Alla hushåll mötte samma pris, vilket innebär att eventuella skillnader i förbrukning drevs av de sociala normerna. Experimentet visade att hushåll som får ta del av sina grannars förbrukning minskar sin egen elförbrukning med nästan 7 procent, och att den största förändringen sker under höglasttimmar. Att låta konsumenter ta del av information om grannars elkonsumtion är alltså ett effektivt, och billigt, sätt att minska efterfrågetoppar. Dock visar författarna att effekten

22. Man hade kanske kunnat tänka sig att ouppmärksamma hushåll skulle underskatta elpriset och därmed konsumera för mycket el (som i den tidigare nämnda studien av Sexton (2015), men Kažukauskas och Broberg (2016) visar att det snarare är tvärtom, åtminstone i Sverige.
23. »Knuffar» är en dålig svensk översättning.

avtar efter ett par månader. Liknande studier, med liknande resultat, har även gjorts i USA (t.ex. Allcott, 2011b).

Man skulle även kunna tänka sig att hushåll är beredda att anpassa sin förbrukning av andra anledningar än pris, till exempel miljöeffekter. Broberg m.fl. (2019) har undersökt om information kring miljövinster av efterfrågeflexibilitet påverkar hushållens kompensationskrav för att acceptera sådana begränsningar. Deras resultat visar dock inga tydliga tecken på att hushållen skulle bli mer positivt inställda till begränsningar när de får denna information. De visar dock på hur hushåll som exempelvis väljer »gröna« elavtal och sopsorterar kräver mindre kompensation. Ett liknande resultat återfinns i Buryk m.fl. (2015), där författarna visar att information om miljö- och systemnyttor från efterfrågeflexibilitet minskar kompensationskrav för att byta från traditionella elavtal till timprisavtal med 10 procent.

Dåliga utsikter för efterfrågeflexibilitet?

Med tanke på de ovan nämnda problemen (hinder, små incitament, bristande information och kunskap m.m.) är det kanske inte så konstigt att kundernas intresse för efterfrågeflexibilitet idag är lågt. Att anpassa sin elförbrukning efter tillgängligheten på el innebär en nyttoförlust för hushållen, dels eftersom de då måste hålla koll på prisförändringar, dels på grund av att förändringar i beteende innebär en kostnad i sig. Om ett hushåll har preferenser för att laga mat klockan 18 på kvällen, men på grund av höga elpriser »tvingas« vänta två timmar med matlagningen, så innebär detta en nyttoförlust.

Energimarknadsinspektionen (2010) har identifierat ytterligare ett antal hinder för att efterfrågeflexibilitet i de olika kundsegmenten ska komma till stånd. Att det inte finns teknik installerad hos kunderna, framför allt hushållen, som gör det enkelt för dem att erbjuda sin flexibilitet, är exempelvis ett hinder. Att utbudet av smarta tjänster och avtal för hushåll som vill vara flexibla idag är begränsat är ett annat hinder. Tidigare undersökningar (Energimarknadsinspektionen, 2014) visar dessutom att väldigt få elbolag skyltar med timprisavtal på sina hemsidor, vilket skulle kunna tolkas som att timprisavtal inte heller är eftertraktade hos elföretagen.

Utsiktarna för efterfrågeflexibilitet ter sig idag onekligen som små, men kanske kommer detta att ändras i framtiden? Framför allt kan man tänka sig att en ökad andel intermittent produktion leder till mer varierande priser och större prisskillnader mellan höglasttimmar och låglasttimmar, och därmed också öppnar upp för större monetära incitament för efterfrågeflexibilitet. En fortsatt teknikutveckling och automatisering, och lägre priser för styrutrustning, kan också minska begränsningarna och kostnaderna för att erbjuda flexibilitet.

Framtiden för efterfrågefleksibilitet

DETTA KAPITEL BESKRIVER, utifrån rådande forskningsläge, vad vi kan förvänta oss av efterfrågefleksibilitet i framtiden. Kommer prisvariationen att öka med en större andel förnyelsebar energi, och kommer incitamenten i så fall att bli tillräckligt stora? Vilken roll kan solceller, elbilar och lagring av el spela, och finns det nya marknadsmodeller och aktörer som kan ändra spelreglerna för efterfrågefleksibilitet?

24. En ökad mängd intermittent produktion kan också leda till lägre priser i genomsnitt. Detta beror framför allt på att produktionskostnaderna för förnyelsebar energi, som till exempel vindkraft, är lägre än för annan produktion, vilket ökar utbudet av billig el.

Större monetära incitament med mer förnyelsebar produktion?

Att incitamenten till efterfrågefleksibilitet är små idag är knappast förvånande. Sverige är nettoexportör av el och den stora andelen vattenkraft har en utjämnande effekt på elpriset. Situationer med hög efterfrågan och liten produktion uppstår sällan, och elpriset är generellt lågt och utgör en liten del av hushållens budget. Med en allt större andel väderberoende elproduktion förefaller det dock rimligt att priserna på el i framtiden kommer att förändras jämfört med idag (se t.ex. IVA, 2015, för Sverige; Paraschiv m.fl., 2014, för Tyskland; Gelabert m.fl., 2011, för Spanien och Frauendorfer m.fl., 2018, för Schweiz). Framför allt kan en ökad andel förnyelsebar energi leda till större prisvariationer (Ketterer, 2014; Rintamäki m.fl., 2017; Woo m.fl., 2011; Clò m.fl., 2015) eftersom produktionen av el från vind- och solkraft är som högst mitt på dagen då solen lyser mest och det generellt sett blåser mer. Om dessutom efterfrågan på el är större på morgonen och under tidig kväll än mitt på dagen så kan detta medföra en obalans i utbud och efterfrågan på dygnsbasis, vilket i sin tur kan leda till mer varierande priser med stora skillnader mellan timmar.²⁴ Även en eventuell utfasning av effektreserven kan bidra till större prisvariation. Ju större prisvariation mellan

timmar, desto större blir också incitamenten att flytta förbrukning från dyra till billiga timmar. Hur stor prisvariation som denna utveckling ger upphov till är beroende av tillgången på reglerkraft (Rintamäki m.fl., 2017), och eftersom Sverige har gott om vattenkraft så är det rimligt att effekterna i Sverige blir mindre än i länder med lite eller ingen vattenkraft.

Ökad prisvariation och prisskillnader mellan länder kommer också att göra investeringar i överföringskapacitet och produktionskapacitet mer lönsamma, vilket har en dämpande effekt på prisvariation (Jaehnert m.fl., 2013; Gerasimova, 2017). Av samma anledning kommer också investeringar i lagring (t.ex. batterier) vara mer lönsamma, vilket också har en dämpande effekt på prisvariationen. Det är därmed inte säkert att incitamenten blir så stora som de kompensationskrav som hushållen kräver (Broberg m.fl., 2014; Broberg & Persson, 2016; Broberg m.fl., 2019).

Även om prisvariationen skulle bli större i framtiden så visar forskning att hushållen reagerar relativt lite även på stora incitament. Exempelvis visar både Bartusch och Alvehag (2014), Bartusch m.fl. (2011) och Lanot och Vesterberg (2020) att stora prisvariationer inte nödvändigtvis leder till stora förändringar i förbrukning. Båda dessa studier undersöker priskänsligheten för hushåll som har så kallade effekttariffer, vilket i de flesta fall innebär väldigt stora prisvariationer mellan olika timmar. Incitamenten att flytta förbrukning eller på annat sätt anpassa förbrukning är därmed betydande. Trots detta så visar dessa studier på att priselasticiteten (dvs. priskänsligheten) är liten, till och med mindre än vad många tidigare studier har funnit. En tolkning av detta resultat är därför att även om prisvariationen – och därmed incitamenten – ökar i framtiden så förefaller det inte troligt att hushållen reagerar mer än vad de gör idag.

Fler elbilar och nya lagringsmöjligheter

Behovet av efterfrågeflexibilitet kan delvis ses som en konsekvens av att el hittills inte kunnat lagras på ett billigt sätt, och därför är det också rimligt att tillgången till allt billigare lagringsmöjligheter kommer att påverka elmarknaden (se t.ex. Bhattacharyya, 2019; Panos m.fl., 2019). Även hushåll kan idag lagra el, inte minst genom den stadigt ökande mängden elbilar i Sverige. 2019 fanns mer än 100 000 laddbara fordon i trafik (att jämföra med drygt 50 000 elbilar ett år tidigare, och nästan 7 miljoner personbilar totalt i Sverige). Den samlade batterikapaciteten från landets laddbara fordon uppgår nu till 2 300 MWh (se www.elbilsstatistik.se). I teorin skulle hushåll kunna lagra el i bilens batteri när elen är billig och sedan använda elen för att driva hushållsapparater och uppvärmningssystem när elen är dyr. Hushållen skulle i så fall kunna fortsätta använda

el på samma sätt som tidigare, vilket rimligen borde innebära att den upplevda kostnaden för att anpassa förbrukning efter tillgängligheten på el minskar. Å andra sidan bygger detta på att hushållen då också laddar bilen under timmar när tillgängligheten på el är god, och att bilen finns hemma när tillgängligheten på el är låg och den lagrade elen behöver användas. Om hushållen istället laddar bilen när det exempelvis blåser lite så kommer istället belastningen på elsystemet att öka.

Precis som med annan elförbrukning är det rimligt att tänka sig att det individuella hushållet kommer att anpassa laddning av sin elbil efter tillgången på el, förutsatt att incitamenten att göra detta är tillräckligt stora, så även här kommer incitament att spela roll. Om elbilen dessutom ska laddas ur (för att t.ex. driva hushållsapparater och uppvärmning) när elen är dyr så förutsätter detta att bilen står hemmavid när elen väl ska användas, vilket kan innebära en betydande nyttoförlust i vissa situationer. Tyvärr saknas idag bra och tydlig empirisk forskning kring dessa frågor, och framför allt har väldigt lite av forskningen kring elbilar fokuserat på hur hushållens beteende påverkar och påverkas (vilket poängteras i t.ex. Sovacool m.fl., 2018). Precis som när det gäller efterfrågeflexibilitet så är hushållens beteende direkt avgörande för om den tekniska potentialen kommer att realiseras, och detta är en uppenbar frågeställning för framtida forskning.

Prosumenter – konsumenter som producerar

Fler och fler hushåll installerar solpaneler på sina tak – mellan 2016 och 2018 fördubblades antalet installationer (Energimyndigheten, 2019b). Då de flesta av dessa hushåll både producerar egen el och fortfarande konsumerar en viss mängd el från elsystemet (dvs. inte är helt självförsörjande på el året runt) så brukar man referera till dem som *prosumenter*, eller *prosumers* på engelska.

De flesta hushåll installerar förmodligen solceller för att minska sin elkostnad, men till viss del kan hushållsproduktion av el också hjälpa till att minska belastningen på elsystemet, framför allt om hushållsproduktion kombineras med lagring av el. Dock finns det en risk att hushållsproduktionen är som störst när också tillgängligheten på el i det övriga elsystemet är som störst, som till exempel en varm och solig sommardag. Elsystemet är som mest belastat på vintern när det är kallt och vindstilla ute, och om inte hushållen kan tillgodose sin elanvändning från solpaneler under dessa timmar så kommer de likväl att belasta elsystemet under de timmar då elsystemet redan är som mest ansträngt. Dessutom kan detta förvärra det tidigare nämnda problemet med »missing money«, eller »saknade pengar« (dvs. då ett pristak begränsar intäkterna

för elproducenter). Om många hushåll själva producerar sin egen el under soliga timmar har detta en liknande effekt, eftersom intäkterna till elproducenter även här minskar (Fett m.fl., 2019).

Precis som med lagring och elbilar finns det än så länge inte så mycket forskning kring hur ökad hushållsproduktion av el och efterfrågefleksibilitet hänger ihop, men detta är ytterligare ett förslag för framtida forskning.

Aggregatorer – nya aktörer på flexibilitetsmarknaden

Många menar att framtiden för efterfrågefleksibilitet ligger i den roll som så kallade aggregatorer kan spela (Campaigne m.fl., 2016; Ottesen m.fl., 2018; Ruokamo m.fl., 2019). En *aggregator* kan beskrivas som en aktör som samlar flexibilitet från flera andra aktörer och säljer denna flexibilitet på en marknad. Exempelvis skulle hushåll kunna ingå ett avtal med aggregatorn om att erbjuda flexibilitet mot kompensation. Även om hushållen var för sig endast bidrar med lite flexibilitet så skulle den aggregerade flexibiliteten kunna vara betydande om någon sammanställer den. Om den totala flexibiliteten är tillräckligt stor så skulle den kunna bjudas ut på till exempel balansmarknaden – där prisvariationen ofta är betydligt större än på spotmarknaden, men där det krävs större volymer än de som enskilda hushåll kan erbjuda. Detta skulle kunna innebära större incitament för hushållen. En aggregator skulle även kunna erbjuda andra former av systemtjänster till exempelvis systemoperatörer (Sweco, 2018b; Specht m.fl., 2019). Dessutom skulle möjligen aggregatorer kunna förse hushållen med styrutrustning, som en del av ett flexibilitetsavtal, och därmed skulle hushållens kostnader för att erbjuda flexibilitet minska.

Även om det pågår flera demonstrationsprojekt inom EU-projektet CoordiNet²⁵ så är än så länge aggregatorer en marginell företeelse på elmarknaden och något som det i stort sett saknas forskning kring. Framför allt saknas forskning om ifall aggregatorer kan vara en lösning på de problem som diskuterats ovan (små incitament för hushållen, hinder för flytt av last m.m.). Det är också viktigt att komma ihåg att tidigare studier har visat på att hushållen upplever elavtal med olika typer av begränsningar på hushållens förbrukning som att de inte har full kontroll över sin elanvändning, och att hushållen inte litar fullt ut på olika aktörer (Stenner m.fl., 2017; Broberg & Persson, 2016). Dessutom är som påpekats hushållens kompensationskrav för att anpassa sin elförbrukning till utbudet betydande, och det är inte uppenbart hur aggregatorer skulle kunna erbjuda sådana kompensationer (Ottesen m.fl., 2018; Ruokamo m.fl., 2019).

25. EU-projektet CoordiNet siktar på att använda dagens elnät smartare. Totalt omfattas tre länder och 23 aktörer med en budget på totalt 150 miljoner kronor.

För att aggregatorer ska bli en relevant aktör på den svenska elmarknaden kan det också komma att krävas ett tydligare regelverk kring exempelvis balansansvar. Detta eftersom oberoende aggregatorer som omfördelar förbrukning över tid riskerar att orsaka obalanser hos de aktörer som har finansiellt ansvar för obalanser i de områden som aggregeras (t.ex. ett lokalnät, se Sweco, 2018a).

Slutligen behöver man beakta verifiering och bevisad effekt; hur kan en aggregator säkerställa att en effektreduktion faktiskt skett som ett resultat av en viss åtgärd, och inte är något som hade hänt i alla fall? Det vill säga, hur ska övriga aktörer veta att det är aggregatorns förtjänst att elanvändare har minskat sin förbrukning?

Slutsatser

DEN SVENSKA ELMARKNADEN står inför stora förändringar. Kärnkraften håller på att avvecklas, andelen vindkraft ökar kraftigt från år till år, och samhället blir allt mer elektrifierat. Många menar att dessa utmaningar skulle underlättas om hushållskunder deltog mer aktivt på elmarknaden. Sedan 2012 har hushållskunder rätt till timmätning av sin elkonsumention, vilket i sin tur innebär att hushåll kan välja elavtal med priser som varierar mellan timmar. Sådana avtal, som alltså funnits tillgängliga sedan 2012, ger hushållen monetära incitament att flytta förbrukning från dyra timmar, där tillgången på el är liten, till billiga timmar där det finns mycket tillgänglig el. Efterfrågan på sådana avtal har dock än så länge varit liten.

Denna rapport beskriver efterfrågefleksibilitet ur hushållens perspektiv: Vilka kostnader (i termer av nyttoförluster) finns för flytt av förbrukning över tid? Hur stora blir hushållens plånboksbesparingar av sådant beteende? Är dessa plånboksbesparingar tillräckligt stora (jämfört med kostnaderna)? Hur kan vi tänka oss att framtida utveckling på elmarknaden, både gällande teknologi som minskar kostnader och en ökad andel vindkraft som ger ökade plånboksbesparingar, påverkar hushållens möjligheter och vilja att bidra med efterfrågefleksibilitet?

Många av dessa frågor är redan besvarade av den national-ekonomiska forskningen kring efterfrågefleksibilitet, men tenderar att glömmas bort i de teknikcentrerade diskussioner som ofta förs kring efterfrågefleksibilitet och framtidens elmarknad. Och kanske är resultaten från denna forskning alltför nedslående för dem som hoppas på ökad efterfrågefleksibilitet? Forskningen visar nämligen att *hushåll förefaller relativt ointresserade* av att bidra med efterfrågefleksibilitet, och ger flera förklaringar till detta:

- › Att flytta förbrukning över tid innebär i många fall att hushåll måste anpassa tidpunkten för olika aktiviteter, som till exempel matlagning. Detta är kostsamt för hushållen, då det ofta innebär en nyttoförlust att ändra sina levnadsmönster.

- › De monetära incitamenten för att flytta förbrukning över tid är väldigt små. Att flytta all förbrukning under en arbetsdag i februari fem timmar framåt ger exempelvis endast ett par procents kostnadsminskning och även om det finns elförbrukning som är relativt lätt att flytta (utan att investera i teknologi för att automatisera styrning), som till exempel tvätt och disk, så används relativt lite el till dessa aktiviteter, vilket innebär att den samhällsekonomiska vinningen av sådana förändringar är små.
- › Den kompensation som hushåll kräver för att flytta sin förbrukning (och därmed minska sin komfort och flexibilitet) är avsevärt större än de faktiska kostnadsbesparingarna som flytt av förbrukningen genererar.
- › Även om prisvariationen blir större i framtiden så visar forskning att priskänsligheten är liten, även om incitamenten är stora. Det skulle med andra ord förmodligen krävas betydande prisvariation och väldigt stora prisskillnader för att hushållens priskänslighet ska resultera i någon betydande förändring av förbrukningsmönster.
- › De flesta hushåll saknar perfekt information och kunskap om hushållets förbrukning och om priser, vilket kan påverka deras möjligheter att reagera på prissignaler. Å andra sidan visar en rad studier på att även om hushållen tillgodosör sig information, så har detta en relativt liten effekt på till exempel priskänslighet. Dessutom är det inte orimligt att tänka sig att det skulle innebära en kostnad för hushåll att hålla koll på priser och förbrukning, inte minst om hushållet behöver lägga tid på att hålla sig uppdaterad om detta.
- › Teknik och styrutrustning har potential att underlätta förändringar i förbrukning, men för att det genomsnittliga hushållet – och inte bara vissa enskilda hushåll – ska investera i sådan utrustning är det rimligt att tänka sig att kostnadsbesparingarna behöver vara tillräckligt stora för att täcka investeringskostnaderna. Lärdomar från andra kontexter, till exempel utrustning för uppenbart förbättrad energieffektivitet, visar att inte ens då besparingspotentialen är uppenbar är det säkert att hushållen genomför sådana investeringar.

Sammantaget visar forskning att utsikterna för efterfrågeflexibilitet idag är relativt små – många hushåll förefaller helt enkelt inte särskilt intresserade av att bidra med efterfrågeflexibilitet. Detta betyder inte nödvändigtvis att efterfrågeflexibilitet i sig är något dåligt. Det finns förmodligen vissa hushåll som gärna bidrar, och att dessa hushåll får möjlighet att anpassa sin förbrukning efter tillgängligheten på el är knappast negativt. Dock medför detta en kostnad, då det krävs investeringar i elnät och mätutrustning för att förverkliga sådana möjligheter. Vad denna rapport försöker förmedla är snarare att det är osannolikt att särskilt många hushåll är intresserade av efter-

frågeflexibilitet, vilket också speglas av andelen hushåll som valt timprisavtal (mindre än 1 procent av alla hushåll i Sverige).

En uppenbar konsekvens av detta är att styrinstrument som syftar till att stimulera beteendeförändringar förmodligen är ineffektiva och i värsta fall dyra, och att styrmedel snarare bör fokusera på automatisering. Detta förefaller vara en relativt lågt hängande frukt, speciellt om sådan automatisering kan leda till förändringar i förbrukning utan att det påverkar hushållens levnadsmönster i någon stor utsträckning. Inte minst värmepumpar och andra apparater som karakteriseras av »passivt« användande har en stor potential. En annan implikation av forskningen kring efterfrågeflexibilitet är att det inte är givet att efterfrågeflexibilitet är mer kostnadseffektivt än utbudsförändringar, det vill säga ökad produktion av el och utbyggnad av elnät.

- Alberini, A., Khymych, O. & Šcasný, M. (2019). Response to Extreme Energy Price Changes: Evidence from Ukraine. *The Energy Journal*, 40(1).
- Allcott, H. (2011a). Rethinking real-time electricity pricing. *Resource and Energy Economics*, 33(4), 820–842.
- Allcott, H. (2011b). Social norms and energy conservation. *Journal of public Economics*, 95(9–10), 1082–1095.
- Allcott, H. & Greenstone, M. (2012). Is there an energy efficiency gap? *Journal of Economic Perspectives*, 26(1), 3–28.
- Amundsen, E. S. & Bergman, L. (2006). Why has the Nordic electricity market worked so well? *Utilities Policy*, 14(3), 148–157.
- Bartusch, C. & Alvehag, K. (2014). Further exploring the potential of residential demand response programs in electricity distribution. *Applied Energy*, 125, 39–59.
- Bartusch, C., Wallin, F., Odlare, M., Vassileva, I. & Wester, L. (2011). Introducing a demand-based electricity distribution tariff in the residential sector: Demand response and customer perception. *Energy Policy*, 39(9), 5008–5025.
- Bergman, L. (2017). Time for a Second Electricity Market Reform? *Eforis*, Energiforsk.
- Bhattacharyya, S. C. (2019). Energy Demand Management and Demand Response. *Energy Economics*, 571–603. Springer, London.
- Blasch, J., Boogen, N., Filippini, M. & Kumar, N. (2017). Explaining electricity demand and the role of energy and investment literacy on end-use efficiency of Swiss households. *Energy Economics*, 68, 89–102.
- Blesl, M., Wissel, S. & Mayer-Spohn, O. (2007). Private costs of electricity and heat generation. *Deliverable D*, 4.
- Boiteux, M. (1960). Peak-load pricing. *The Journal of Business*, 33(2), 157–179.
- Borenstein, S. (2005). The long-run efficiency of real-time electricity pricing. *The Energy Journal*, 26(3).

- Broberg, T., Brännlund, R., Kažukauskas, A., Persson, L. & Vesterberg, M. (2014). En elmarknad i förändring: är kundernas flexibilitet till salu eller ens verklig? *Energimarknadsinspektionen*.
- Broberg, T., Brännlund, R. & Persson, L. (2017). Consumer Preferences and Soft Load Control on the Swedish Electricity Market. *CERE Working Paper* No. 2017:9. CERE – Centre for Environmental and Resource Economics.
- Broberg, T., Melkamu Daniel, A. & Persson, L. (2019). Household Preferences for Load Restrictions: Is There an Effect of Pro-Environmental Framing? *CERE Working Paper* No. 2019:8. CERE – Centre for Environmental and Resource Economics.
- Broberg, T. & Persson, L. (2016). Is our everyday comfort for sale? Preferences for demand management on the electricity market. *Energy Economics*, 54, 24–32.
- Brännlund, R., Ghalwash, T. & Nordström, J. (2007). Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions. *Energy Economics*, 29(1), 1–17.
- Brännlund, R., Karimu, A. & Söderholm, P. (2012). Elmarknaden och elprisets utveckling före och efter avregleringen: ekonometriska analyser. *CERE Working Paper* No. 2012:14. CERE – Centre for Environmental and Resource Economics.
- Buryk, S., Mead, D., Mourato, S. & Torriti, J. (2015). Investigating preferences for dynamic electricity tariffs: The effect of environmental and system benefit disclosure. *Energy Policy*, 80, 190–195.
- Campaigne, C. & Oren, S. S. (2016). Firming renewable power with demand response: an end-to-end aggregator business model. *Journal of Regulatory Economics*, 50(1), 1–37.
- Carlsson, F., Martinsson, P. & Akay, A. (2011). The effect of power outages and cheap talk on willingness to pay to reduce outages. *Energy Economics*, 33(5), 790–798.
- CEER (2020). Recommendations on Dynamic Price Implementation. *Council of European Energy Regulators*.
- Clò, S., Cataldi, A. & Zoppoli, P. (2015). The merit-order effect in the Italian power market: The impact of solar and wind generation on national wholesale electricity prices. *Energy Policy*, 77, 79–88.
- Damsgaard, N., Green, R. & Johansson, B. (2005). *Den nya elmarknaden: framgång eller misslyckande?* SNS förlag.
- Daniel, A. M., Persson, L. & Sandorf, E. D. (2018). Accounting for elimination-by-aspects strategies and demand management in electricity contract choice. *Energy Economics*, 73, 80–90.
- Energiföretagen (2019a). »Elanvändningen«, https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/energiaret2018_elanvandningen_verse191210.pdf

- Energiföretagen (2019b). »Sveriges totala energitillförsel«, https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/energiaret2018_sv-tot-energitillf_vers191210.pdf
- Energikommissionen (2015). »Promemoria om kostnaderna för nya elproduktionsanläggningar i Sverige«, <http://www.energikommissionen.se/app/uploads/2016/05/promemoria-om-kostnaderna-fr-nya-elproduktionsanlaggningar-i-sverige.pdf>
- Energimarknadsinspektionen (2010). Ökat inflytande för kunderna på elmarknaden. Timmätning för elkunder med abonnemang om högst 63 ampere. *EIR* 2010:22.
- Energimarknadsinspektionen (2014). Uppföljning av Timmätningens reformen, *EIR* 2014:05.
- Energimarknadsinspektionen (2016). Åtgärder för ökad efterfrågeflexibilitet i det svenska elsystemet, *EIR* 2016:15.
- Energimyndigheten (2019a). Scenarier över Sveriges elsystem 2018, *ER* 2019:07.
- Energimyndigheten (2019b). »Solcellsstatistik 2019«, <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2020/solcellsstatistik-2019--nu-finns-44-000-solcellsanlaggningar-i-sverige/>
- Energimyndigheten (2020). »Sveriges energi- och klimatmål«. <https://www.energimyndigheten.se/klimat-miljo/sveriges-energi-och-klimatmal/>
- Faruqui, A. & George, S. (2005). Quantifying customer response to dynamic pricing. *The Electricity Journal*, 18(4), 53–63.
- Faruqui, A., Sergici, S. & Warner, C. (2017). Arcturus 2.0: A meta-analysis of time-varying rates for electricity. *The Electricity Journal*, 30(10), 64–72.
- Fett, D., Keles, D., Kaschub, T. & Fichtner, W. (2019). Impacts of self-generation and self-consumption on German household electricity prices. *Journal of Business Economics*, 89(7), 867–891.
- Frauentorfer, K., Paraschiv, F. & Schürle, M. (2018). Cross-border effects on Swiss electricity prices in the light of the energy transition. *Energies*, 11(9), 2188.
- Fritz, P., Linden, M., Helbring, J., Holtz, C., Berg, B. & Fernlund, F. (2013). Efterfrågeflexibilitet på en energy-only marknad – Budgivning, nättariffer och avtal. *Elforsk* 13:95.
- Gelabert, L., Labandeira, X. & Linares, P. (2011). An ex-post analysis of the effect of renewables and cogeneration on Spanish electricity prices. *Energy Economics*, 33, 59–65.
- Gerasimova, K. (2017). *Electricity price volatility: its evolution and drivers*. Doktorsavhandling, Alto University.
- Hellström, J., Lundgren, J. & Yu, H. (2012). Why do electricity prices jump? Empirical evidence from the Nordic electricity market. *Energy Economics*, 34(6), 1774–1781.

- Herter, K., McAuliffe, P. & Rosenfeld, A. (2007). An exploratory analysis of California residential customer response to critical peak pricing of electricity. *Energy*, 32(1), 25–34.
- Holland, S. P. & Mansur, E. T. (2008). Is real-time pricing green? The environmental impacts of electricity demand variance. *The Review of Economics and Statistics*, 90(3), 550–561.
- Ito, K. (2014). Do consumers respond to marginal or average price? Evidence from nonlinear electricity pricing. *American Economic Review*, 104(2), 537–63.
- IVA (2015). *Scenarier för den framtida elanvändningen*. IVA-projektet Vägval el.
- IVA (2016). *Sveriges framtida elnät*. IVA-projektet Vägval el.
- Jaehnert, S., Wolfgang, O., Farahmand, H., Völler, S. & Huertas-Hernando, D. (2013). Transmission expansion planning in Northern Europe in 2030 – Methodology and analyses. *Energy Policy*, 61, 125–139.
- Joskow, P. L. (2008). Capacity payments in imperfect electricity markets: Need and design. *Utilities Policy*, 16(3), 159–170.
- Joskow, P. L. (2019). Challenges for wholesale electricity markets with intermittent renewable generation at scale: the US experience. *Oxford Review of Economic Policy*, 35(2), 291–331.
- Karimu, A., Krishnamurthy, K. B. & Vesterberg, M. (2020). Hourly demand for electricity in Sweden: Implications for load, welfare and emissions. Kommande i *Energy Journal*.
- Kažukauskas, A. & Broberg, T. (2016). Perceptions and inattention in private electricity consumption. *CERE Working Paper* No. 2016:2. CERE – Centre for Environmental and Resource Economics.
- Kažukauskas, A., Broberg, T. & Jaraite, J. (2017). Social Comparisons in Real Time: A Field Experiment of Residential Electricity and Water Use. *CERE Working Paper* No. 2017:8. CERE – Centre for Environmental and Resource Economics.
- Keppler, J. H. (2017). Rationales for capacity remuneration mechanisms: Security of supply externalities and asymmetric investment incentives. *Energy Policy*, 105, 562–570.
- Ketterer, J. C. (2014). The impact of wind power generation on the electricity price in Germany. *Energy Economics*, 44, 270–280.
- Kopsakangas-Savolainen, M. K. & Svento, R. (2012). Real-time pricing in the nordic power markets. *Energy Economics*, 34(4), 1131–1142.
- Krishnamurthy, C. K. B. & Kriström, B. (2015). A cross-country analysis of residential electricity demand in 11 OECD-countries. *Resource and Energy Economics*, 39, 68–88.

- Krishnamurthy, C. K. B., Vesterberg, M., Böök, H., Lindfors, A. V. & Svento, R. (2018). Real-time pricing revisited: Demand flexibility in the presence of micro-generation. *Energy policy*, 123, 642–658.
- Kwoka, J. & Madjarov, K. (2007). Making markets work: the special case of electricity. *The Electricity Journal*, 20(9), 24–36.
- Lanot, G. & Vesterberg, M. (2020). The price elasticity of electricity demand when marginal incentives are very large. *Umeå Economic Studies* (No. 968). Umeå University, Department of Economics.
- Lindskoug, S. (2006). Demonstrationsprojekt: Effektstyrning på användarsidan vid effektbristsituationer. *Elforsk* 2005:31.
- Littlechild, S. (2006). Competition and contracts in the Nordic residential electricity markets. *Utilities Policy*, 14(3):135–147.
- Lundgren, J. (2009). Consumer welfare in the deregulated Swedish electricity market. *Frontiers in Finance and Economics*, 6(2):101–119.
- Naturvårdsverket (2019). *Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen 2019*.
- NEPP (2016). *Reglering av kraftsystemet med ett stort inslag av variabel produktion. North European Power Perspectives*.
- Nesbakken, R. (1999). Price sensitivity of residential energy consumption in Norway. *Energy Economics*, 21(6), 493–515.
- Nesbakken, R. (2001). Energy consumption for space heating: a discrete–continuous approach. *Scandinavian Journal of Economics*, 103(1), 165–184.
- Nohlgren, I., Herstad-Svard, S., Jansson, M. & Rodin, J. (2014). Electricity from new and future plants 2014. *Elforsk* 14:45.
- Ottesen, S. Ø., Tomasgard, A. & Fleten, S. E. (2018). Multi market bidding strategies for demand side flexibility aggregators in electricity markets. *Energy*, 149, 120–134.
- Panos, E., Kober, T. & Wokaun, A. (2019). Long term evaluation of electric storage technologies vs alternative flexibility options for the Swiss energy system. *Applied Energy*, 252, 113470.
- Paraschiv, F., Erni, D. & Pietsch, R. (2014). The impact of renewable energies on EEX day-ahead electricity prices. *Energy Policy*, 73, 196–210.
- Parti, M. & C. Parti (1980). The total and appliance-specific conditional demand for electricity in the household sector. *The Bell Journal of Economics* 11(1), 309–321.
- Pérez-Arriaga, I. J. & Batlle, C. (2012). Impacts of intermittent renewables on electricity generation system operation. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 1(2), 3–18.

- Petit, M., Finlon, D. & Janssen, T. (2017). Capacity adequacy in power markets facing energy transition: A comparison of scarcity pricing and capacity mechanism. *Energy Policy*, 103, 30–46.
- Powercircle (2018). *Elnätets roll i framtidens energisystem: Möjligheter, hinder och drivkrafter för smarta elnätslösningar*.
- Richter, L. L. & Pollitt, M. G. (2018). Which smart electricity service contracts will consumers accept? The demand for compensation in a platform market. *Energy Economics*, 72, 436–450.
- Rintamäki, T., Siddiqui, A. S. & Salo, A. (2017). Does renewable energy generation decrease the volatility of electricity prices? An analysis of Denmark and Germany. *Energy Economics*, 62, 270–282.
- Ruokamo, E., Kopsakangas-Savolainen, M., Meriläinen, T. & Svento, R. (2019). Towards flexible energy demand – Preferences for dynamic contracts, services and emissions reductions. *Energy Economics*, 84, 104522.
- Schröder, T. & Kuckshinrichs, W. (2015). Value of lost load: An efficient economic indicator for power supply security? A literature review. *Frontiers in energy research*, 3, 55.
- Sensfuß, F., Ragwitz, M. & Genoese, M. (2008). The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. *Energy policy*, 36(8), 3086–3094.
- Sexton, S. (2015). Automatic bill payment and salience effects: Evidence from electricity consumption. *Review of Economics and Statistics*, 97(2):229–241.
- Sovacool, B. K., Noel, L., Axsen, J. & Kempton, W. (2018). The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid (V2G) transition: a critical and systematic review. *Environmental Research Letters*, 13(1), 013001.
- Specht, J. M. & Madlener, R. (2019). Energy Supplier 2.0: A conceptual business model for energy suppliers aggregating flexible distributed assets and policy issues raised. *Energy Policy*, 135, 110911.
- Stenner, K., Frederiks, E. R., Hobman, E. V. & Cook, S. (2017). Willingness to participate in direct load control: The role of consumer distrust. *Applied energy*, 189, 76–88.
- Stoft, S. (2002). Power system economics. *Journal of Energy Literature*, 8, 94–99.
- Svenska kraftnät (2018). Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2019. Svenska kraftnät. Ärenden: 2019/432.
- Svenska kraftnät (2019). »Svenska kraftnät avbryter upphandling av effektreserv«. <https://www.svk.se/om-oss/nyheter/allmanna-nyheter/2019/svenska-kraftnat-avbryter-upphandling-av-effektreserv/>

- Svenska kraftnät 2020. »Elstatistik«. <https://www.svk.se/aktorsportalen/elmarknad/kraftsystemdata/elstatistik/>
- Svenskt Näringsliv (2019). »Framtidens elanvändning«. https://www.svensktnaringsliv.se/bilder_och_dokument/pm-framtidens-elanvandning-191009pdf_745706.html/BINARY/PM%20Framtidens%20elanv%C3%A4ndning%20191009.pdf
- Sweco (2016). *Elkunders möjlighet till flexibel elanvändning*.
- Sweco (2018a). *Faktarapport om alternativ till förstärkt överföringskapacitet*.
- Sweco (2018b). *Aggregatorer på den svenska elmarknaden*. En rapport till forum för Smarta elnät.
- Söder, L., Lund, P. D., Koduvere, H., Bolkesjø, T. F., Rossebø, G. H., Rosenlund-Soysal, E., Skytte, K., Katz, J. & Blumberga, D. (2018). A review of demand side flexibility potential in Northern Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 654–664.
- Wenders, J. T. (1976). Peak load pricing in the electric utility industry. *The Bell Journal of Economics*, 7(1), 232–241.
- Vesterberg, M. (2016). The hourly income elasticity of electricity. *Energy Economics*, 59, 188–197.
- Vesterberg, M. & Krishnamurthy, C. K. B. (2016). Residential end-use electricity demand: Implications for real time pricing in Sweden. *The Energy Journal*, 37(4), 141–164.
- Woo, C. K., Horowitz, I., Moore, J. & Pacheco, A. (2011). The impact of wind generation on the electricity spot-market price level and variance: The Texas experience. *Energy Policy*, 39(7), 3939–3944.
- Zimmermann, J. P. (2009). *End-use metering campaign in 400 households in Sweden – assessment of the potential electricity savings*. Swedish Energy Agency.
- Zivin, J. S. G., Kotchen, M. J. & Mansur, E. T. (2014). Spatial and temporal heterogeneity of marginal emissions: Implications for electric cars and other electricity-shifting policies. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 107, 248–268.

DEN SVENSKA ELMARKNADEN står inför stora förändringar: elektrifiering av transportsektorn och industrin, en ökad andel förnyelsebar produktion och utfasning av kärnkraft. Detta riskerar att leda till underskott på el vid vissa tidpunkter. Ett sätt att undvika sådana ansträngda situationer är att hushållen tar en mer aktiv roll på elmarknaden.

I rapporten undersöker Mattias Vesterberg, forskare i nationalekonomi vid Umeå universitet, vad som krävs för att hushåll ska förändra sin vardagliga energianvändning och därigenom minska belastningen på systemet. Han beskriver hushållens roll på elmarknaden och deras möjligheter, incitament och vilja att aktivt bidra till att lösa problemen på elmarknaden. Är hushållen den kraft att räkna med som många hoppas på?

Rapporten ingår i SNS forskningsprojekt Hållbar samhällsbyggnad.

ISBN 978-91-88637-43-7



9 789188 637437 >