

Dok. ansvarlig: PDO
Sekretær: SLS
Sagsnr.: s2017-008
Doknr: d2017-7274-6.0
Udgivelsesdato: 03-10-2017

Fleksibelt elforbrug på Færøerne

Indhold

Sammenfatning	2
Anbefalinger	3
Forbered planlægningsprocessen.....	3
Forbered infrastrukturen	4
Find passende incitamentter	5
Konteksten	6
Hvilke ydelser har elnettet brug for?	7
A. Fleksibelt elforbrug kan levere frekvensregulering	7
B. Fleksibelt elforbrug kan levere regulerkraft.....	9
C. Fleksibelt elforbrug kan bidrage til driftsplanlægning	9
D. Fleksibelt elforbrug kan udsætte behovet for netudbygning.....	10
Hvem er de fleksible elforbrugere?	11
A. Rumopvarmning er meget energikrævende og fleksibelt.....	11
B. Elbiler og deres batterier kan både optage og levere energi	12
C. Hybride biler og varmesystemer giver den største fleksibilitet	12
Styring af det fleksible elforbrug	13
Kommunikationssystemer skal tilpasses behovet	13
Styrebokse er nøglen til fleksibelt forbrug	13
Fleksibelt elforbrug skal tænkes ind i planlægningen	14
Rebound-effekten kan forudses	14
Baseline og validering sikrer, at forbruget har leveret fleksibilitet	15
Tredjeparts-leverandører kan hjælpe med kundekontakt	15

Sammenfatning

Et fleksibelt elsystem er i stand til at balancere elproduktion og elforbrug for at opnå en stabil og billig forsyning. Flexibilitet er således vigtigt for elsystemet og bliver endnu vigtigere, når fluktuerende grønne energiproducenter dominerer. Flexibelt elforbrug kan bruges til at spare på dyrt brændstof, reagere hurtigt på særlige hændelser og til at styre uden om flaskehalse i nettet.

En måde at gøre energisystemet mere fleksibelt på er ved at anvende energilagre hos forbrugerne, fx i form af varmepumper eller elbiler. Begge dele er født med et lager, hvilket gør dem i stand til at flytte deres energiforbrug uden at gå på kompromis med deres primære formål. Endvidere kan de reagere på et styresignal meget hurtigt, hvilket er værdifuldt for at opretholde balance i systemet.

Elforbrugere har ingen direkte gavn af at levere flexibilitet til elsystemet, derfor skal de motive-res til at gøre det. Denne motivation kan tage form af belønning, fx lavere tariffer, eller straf for ikke at leve op til minimumskrav til bygninger og apparater.

Økonomien i at udnytte fleksible elforbrugere er attraktiv, fordi apparaterne er anskaffet af kunderne, og de eneste ekstraudgifter er IKT-systemer¹ til styring. Ved at anvende standardiserede IKT-systemer kan man minimere omkostningerne, udfordringen er dog, at de relevante standarder stadig er under udvikling. For at undgå fejlinvesteringer er de mest fremtidssikre grænseflader til apparater de meste simple. Dermed kan styrelogikken ligge eksternt og netoperatøren kan selv bestemme funktionalitet nede til den mindste detalje.

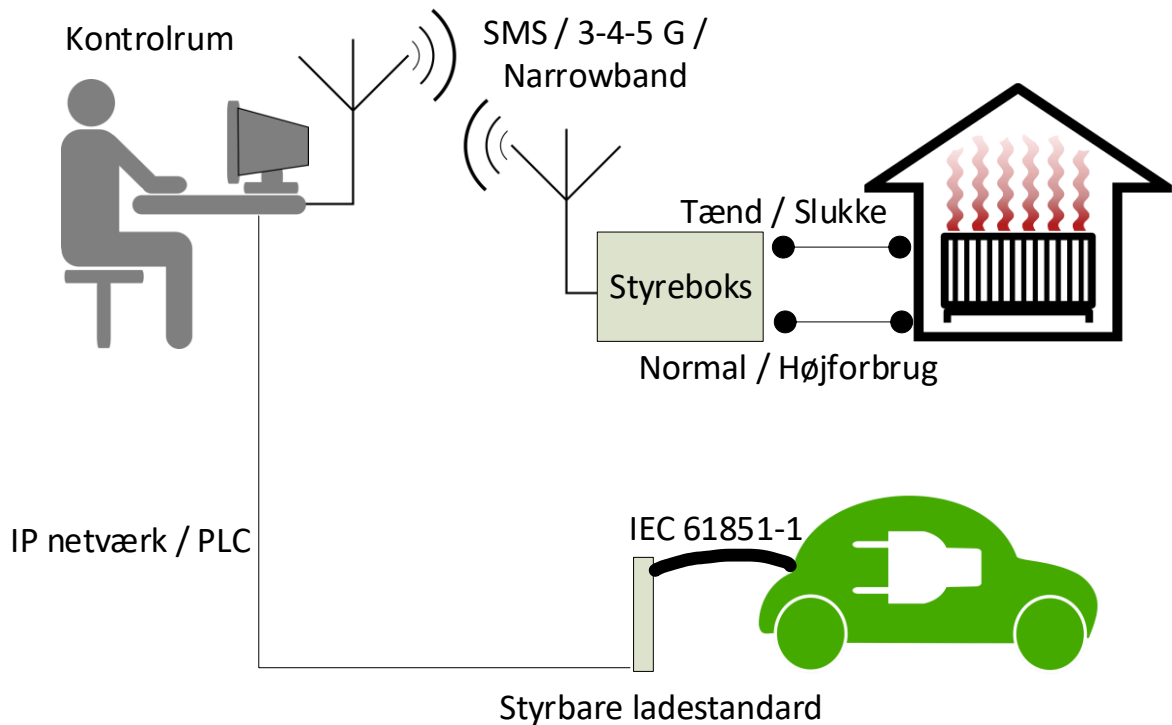
Fleksible elforbrugere, store som små, har store potentialer for at levere flexibilitet, men for at potentialet kan udnyttes optimalt, skal fleksibelt elforbrug indgå i planlægnings- og driftsrutinerne. Styring af fleksibelt elforbrug kan vise sig at være en økonomisk attraktiv komponent i systemet, men det er kun efter en dybdegående analysering, at man kan sige, om et konkret projekt er rentabelt eller ej. Der er altid alternativer, der skal evalueres, og centrale fleksible anlæg, såsom batterier, har også deres fordele.

Dette notat starter med anbefalinger til, hvordan Færøerne bedst kan udnytte fleksible elforbrugere. Derefter er disse anbefalinger underbygget med en beskrivelse af energisystemets behov for flexibilitet, hvorefter egenskaber ved specifikke klasser af fleksible apparater beskrives. Endelig er en række praktiske forhold omkring aktivering af fleksibelt elforbrug beskrevet.

¹ IKT = Informations- og Kommunikationsteknologi – dvs. styringselektronik, software/firmware og telekommunikationsnetværk.

Anbefalinger

Figur 1 skitserer et system, som udnytter fleksibelt elforbrug.



Figur 1 Skematisk overblik af styresystem for fleksibelt elforbrug. Netoperatøren i kontrolrummet kan sende signaler til forbrugerne via et trådløst netværk, PLC eller IP-netværk. Grænsefladen op mod apparaterne bruger de mest simple eksisterende standarder – BWP's "Smart Grid Ready" 2-bit grænseflade for varmepumper og IEC 61851-1 for elbiler.

Eksemplet viser et system med direkte styring af belastninger, hvor netoperatøren bestemmer hvordan de fleksible elforbrugere skal bruges (beskrives nærmere på side 9). Fleksible elforbrugere kan også agere autonomt, uden menneskelig indblanding, for at levere frekvensregulering (se side 7).

Vi anbefaler, at Færøerne overvejer følgende tiltag for at realisere deres potentiale for fleksibelt elforbrug:

Forbered planlægningsprocessen

- Sidestil værdien af fleksibelt elforbrug med andre former for energilagre i analysefasen. Man kan ikke på forhånd sige, om styring af elforbrug er rentabel i forhold til andre alternativer fx batterier, yderligere produktionsanlæg eller netforstærkninger. Kun gennem en dybdegående analysering kan man komme frem til et decideret beslutningsgrundlag.
- Implementer driftsplanlægning, som tager højde for den varierende tilgængelighed af fleksibilitet, både over døgnet (mht. elbiler) og over året (mht. rumopvarmning). Vi anbefaler, at I anvender automatiserede decision-support-systemer, der optimerer på flere parametre, end mennesker er i stand til.

- Gennemfør pilotprogrammer, der kan være værdifulde for at høste erfaring med pålidelighed, vedligeholdelse og kundeoplevelser.
- Efterspørg driftssystemer, der er i stand til at kommunikere med eksterne anlæg med IEC-standard-protokoller. Hold også øje med udviklingen af de facto-kommunikationsstandarder.
- Gruppér de fleksible elforbrugere efter deres placering i nettet, således at styring kan målrettes afgrænsede steder for at afhjælpe flaskehalse.
- Undersøg sammenhængen med, hvornår en belastningstype forventes at være fleksibel, og hvornår I har mest brug for fleksibilitet. Denne øvelse vil identificere de mest lovende fleksible elforbrugere for styring. Hvis der ikke er en dedikeret elmåler til det fleksible apparat, skal der samles historiske data for at modellere belastningen for at etablere baselineforbruget.

Forbered infrastrukturen

- Kontakt teleselskaber for at sondere mulighederne for økonomisk, skalerbar tovejs-maskine-til-maskine-kommunikation.
- Undersøg mulighederne for at erhverve radiofrekvenser og master til trådløs envejs-kommunikation.
- Overvej ændringer til bygningsreglementet for at fremme fleksibilitet igennem åbne kommunikationsgrænseflader og større varmekapacitet.
- Indsaml høj kvalitetsdata om bygninger for at planlægge energibehov og fleksibilitet.
- Inkluder værdien af fleksibilitet i form af hybride energikilder og store varmelagre i overvejelser om kollektive varmforsyninger.
- Overvej krav/incitamentter til at el-baseret opvarmning og elbilopladning udstyres med en kommunikationsgrænseflade (ligesom der gøres for små elproducenter). Relæstyrede eller PWM²-grænseflader er fremtidssikrede, fordi der kan knyttes simple styrebokse til dem.
- Overvej, om der skal anskaffes smart-meters, der er i stand til at aflaste ved underfrekvens og ved direkte kommando.
- Opdel en bygnings elforbrug i lav- og højprioritetskredsløb for at forberede installationer for et differentieret serviceniveau.
- Kræv, at varmpatronerne kan indstilles, så de IKKE aktiveres den første time efter et strømudfald.

² PWM = Pulse Bredde Modulering (eller på engelsk Pulse Width Modulation) er en måde at overføre en variabel værdi mellem 0 og 1 på analog vis.

Find passende incitament

- Overvej, om variable tariffer kan bruges til at fremme fleksibelt elforbrug og dermed minimere brændstofforbruget og spildet af VE. Elbiler er særligt interessante, fordi der er stor risiko for, at de begynder opladning lige midt i spidslasten om eftermiddagen. Denne uhensigtsmæssige opførsel kan nemt afværges med et tænd og sluk-ur.
- Opfordr til frekvensregulering fra elforbrugere, idet den formentlig er den mest værdifulde ydelse for netoperatøren. Den er også meget sjældent brugt, hvilket er godt fra kundens synspunkt.
- Underfrekvensrelæer skal også overvejes i netstationer. Men man skal sikre, at relæerne måler effektretning for at forhindre, at radialer der producerer energi, bliver koblet fra.
- Kortvarig energiproduktion fra elbiler, V2G, skal belønnes.
- Opbyg en energispareordning, hvor der er incitament til at eksterne energirådgivere kan hjælpe med at identificere fleksible elforbrugere.

Konteksten

Færøerne har kurs mod et mere grønt energisystem. Gunstige vindressourcer, vandkraft og – på sigt – solceller og tidevand står klar til at tage over for diesel som Færøernes primære energikilder. Alle disse energikilder producerer elektricitet, og derfor skal en større andel af forbruget, især transport og rumopvarmning, elektrificeres. Et andet væsentligt kendetegn ved disse nye energikilder er, at deres elproduktion fluktuerer efter vejret. Det gør, at elsystemet får større behov for fleksibilitet for at kunne opretholde en stabil forsyning og få størst muligt gavn af den fluktuerende elproduktion.

Disse nye elproducenter skal arbejde sammen med de nye elforbrugere (elbiler, varmepumper m.m.), så systemet drives sikkert og effektivt.

Netoperatøren skal balancere elforbrug og elproduktion sekund for sekund hen over døgnet. Elektricitet er notorisk svært (dvs. dyrt) at lagre. Og hvis man vil bruge et elektricitetslager til at afbalancere systemet, skal der reserveres kapacitet, der ikke kan bruges til andre værdiskabende ydelser. Fx kan et elektricitetslager ikke producere for fuld effekt, hvis det også skal være i stand til at øge produktionen yderligere, hvis et nødstilfælde indtræffer.

I den kommende tid er der udsigt til kraftig vækst i det globale marked for fleksibelt elforbrug. Forudsat at komponenter i de nye systemer standardiseres, vil man kunne sammensætte komponenter fra flere leverandører til et 'virtuelt kraftværk'. Men da det endnu ikke er afgjort, hvilken standard der vinder kampen, er der risiko for tabte investeringer ved at vælge komponenter, der viser sig at være inkompatible med fremtidens systemer.

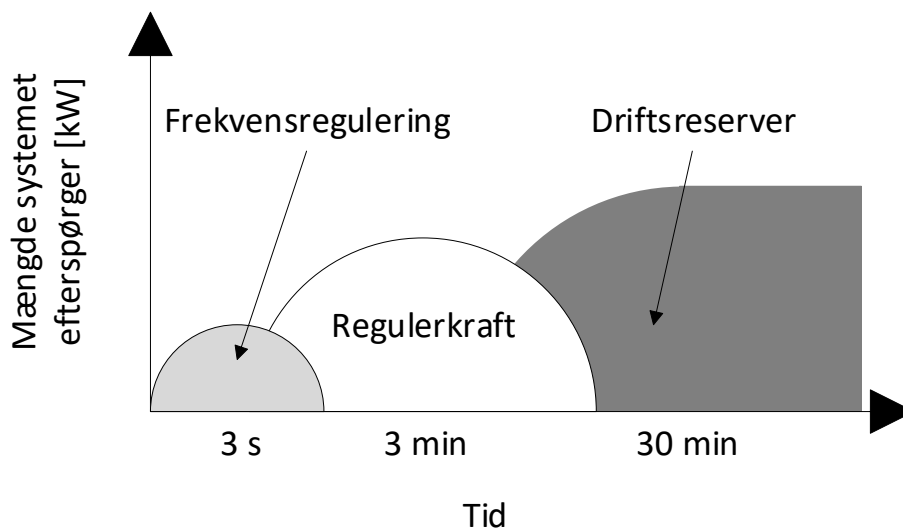
Hvilke ydelser har elnettet brug for?

Balancering af elproduktion og elforbrug er en udfordring for både central og decentral energi-produktion. En anden udfordring er til at hæve udnyttelse af elanlæg, uden at overbelaste dem. Fleksible elforbrug kan afhjælpe disse udfordringer ved at levere de følgende ydelser:

- A. Hurtig frekvensregulering
- B. Lidt langsommere regulerkraft
- C. Endnu langsommere reserver brugt i driftsplanlægning.
- D. Og lokal aflastning af flaskehalse

Til balancering er hurtige reserver generelt dyrere end de langsomme, men til gengæld er der ikke brug for så store mængder. Dette er vist i Figur 2. De hurtige reserver har mest brug for reduktioner i elforbrug, mens driftsplanlægning kan få gavn af både øget og sænket elforbrug.

Mens balancering dækker hele elsystemet, er flaskehalse afgrænset til specifikke komponenter. Flexibelt elforbrug bruges til at undgå lokal overbelastning af komponenter (linjer og transformere), enten som reaktion på fejl eller proaktivt i driftsplanlægningen.



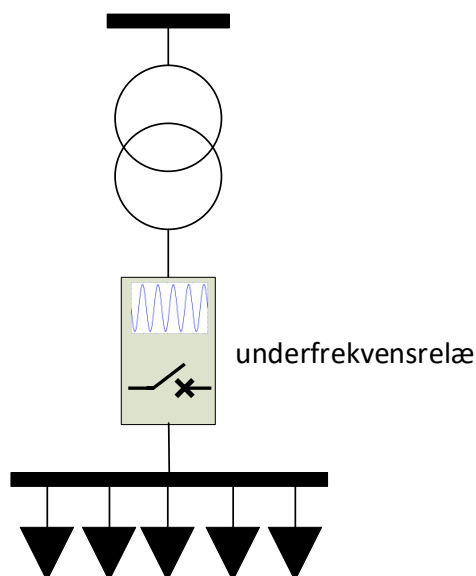
Figur 2 Respons af de 3 forskellige typer reserver efter en hændelse. Bemærk at tidsskalaen ikke er lineær.

A. Flexibelt elforbrug kan levere frekvensregulering

Hvis der opstår ubalance mellem elproduktion og elforbrug, vil det afspejle sig i en ændring af systemfrekvensen. For en given ubalance vil frekvensændringen afhænge af systemets aktuelle inert. Roterende maskiner, såsom dieselkraft, vandkraft eller direkte tilsluttede motorer bidrager til inert, mens apparater med effektelektronik bidrager begrænset. Alle nye elproducenter og de fleste nye elforbrugere tilsluttes med effektelektronik, og i det omfang de erstatter eksisterende roterende maskiner, vil systemets inert falde. Faldende inert vil sætte større pres på den frekvensregulerende ressource. Det største behov for frekvensreguleringsreserver ligger i de første ca. 20 sekunder efter et stort udfald af elproduktion. 20 sekunder er det tidsrum, det tager vand- og termiske kraftværker at øge deres elproduktion for at dække udfaldet.

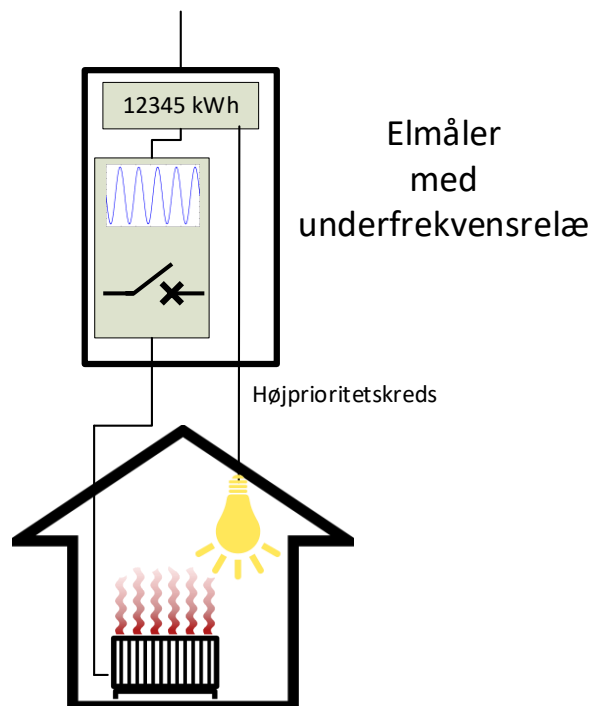
Frekvensregulering skal ske ret hurtigt efter en hændelse. Hvis en respons forsinkes med blot 0,2 sekunder, kan man risikere at destabilisere systemdriften. For at minimere forsinkelse er frekvensregulering baseret på frekvensmålinger taget direkte på anlægget. Der var engang, hvor udstyr til at måle systemfrekvens var dyrt, men nu kan det gøres med en ganske almindelig billig mikrocontroller. Dette prisfald åbner for nye leverandører af frekvensregulering, inklusive forbrugsapparater.

Forbrugsaflastning ved underfrekvens er en veletableret nødløsning til at redde et system på vej mod blackout. En typisk konfiguration med underfrekvensrelæ i netstationen ses i Figur 3. Simuleringer af Færøernes fremtidige elsystem viser, at under særlige hændelser vil der være behov for op til 7 MW forbrugsaflastning for at forhindre systemkollaps. Et netselskab skal være forberedt på at modtage mange sure opkald fra de påvirkede kunder, hvis de aflaster en hel bydel, og derfor er forbrugsaflastning kun en sidste udvej. Men hvis aflastningen er målrettet fleksible apparater, som brugeren ikke vil savne i op til en halv time, så kan man tillade sig at bruge den noget oftere.



Figur 3 Transformer med underfrekvensrelæ til aflastning af store områder.

Flere elmålerleverandører tilbyder produkter med indbygget underfrekvensrelæ, illustreret i Figur 4. Hvis underfrekvensrelæerne kun aflaster en del af forbruget, kan fleksible apparater tilsluttes disse kredsløb. Netselskabet har derfor en opgave i at afstemme forventninger med kunder, så de vil acceptere afbrud af elforbrug med lav prioritet. Til gengæld kunne kunderne få en lavere afregningspris. På sigt kan fleksible 'grid-friendly'-apparater have underfrekvensaflastning indbygget.



Figur 4 Underfrekvensrelæet kan også aflaste enkelte apparater og spare forstyrrelser af højprioritetsbelastninger. Energimåleren vil måle de to kredsløb hver for sig.

Elbiler fra Nissan er også i stand til at regulere deres opladningsstrøm (i opad- og nedadgående retning) på basis af ændringer i systemfrekvensen. Denne feature er aktiv i alle situationer, og ikke kun når der kommer store frekvensfald.

B. Fleksibelt elforbrug kan levere regulerkraft

Når en ubalance er stor og blivende, skal frekvensregulerende reserver afløses af regulerkraft. Disse situationer kan opstå, hvis der er fejl i elanlægget, eller hvis der er store afvigelser i den forventede VE-produktion eller belastningen.

Regulerkraft skal styres centralt af driftsvagten, og man kan typisk forvente, at regulerkraft er leveret inden for 3 minutter efter, at et signal er udsendt. Responsen skal holde en time, eller den tid det tager at bringe et koldt generatoranlæg i drift.

C. Fleksibelt elforbrug kan bidrage til driftsplanlægning

Fleksibelt elforbrug kan hæve udnyttelsesgraden af de tilbageværende produktionsanlæg og nettet (se næste afsnit). I god tid forud for driftstimen skal SEV afgøre, hvilke anlæg der kan forsyne den efterspurgte aktive effekt og de systembærende egenskaber, herunder stabilitet. De dyreste spidslastanlæg bruges kun få timer om året, og fleksibelt elforbrug kan overflødiggøre deres bidrag.

Mere generelt vil VE's fremmarch medføre, at de marginelle energiomkostninger varierer meget over tid. I det ene ekstrem – en helt vindstille dag – vil omkostningerne være knyttet til brændstofprisen. På andre tidspunkter – når der er overskud af VE – kan forbruget øges uden omkostninger. Når elforbrugere betaler retvisende priser, kan det motivere fleksibilitet over længere tidsrum (fra mange timer til flere dage). Med fjernaflæste elmålere har man den basale infrastruktur, der skal til for at lave variabel afregning.

Sammenhæng mellem en varierende elpris og elforbrug kan findes med statistiske analyser af historiske data. Dermed kan netoperatøren forudse prisrespons af elforbrug og optimere systemet for at minimere udgifterne og udnytte VE bedst muligt.

D. Fleksibelt elforbrug kan udsætte behovet for netudbygning

Aktivering af fleksibelt elforbrug kan udsætte behovet for netudbygning i høj- og mellemspændingsnettet ved at der derved undgås kortvarige overbelastninger. Aktivering af fleksibelt elforbrug er mest relevant, når kapaciteten er begrænset pga. fejl i nettet. Derfor skal responstiden svare til den tid, det tager at reparere fejlen. Det kan også være relevant at øge forbruget for at udnytte nærliggende VE, der ellers vil gå til spilde pga. flaskehalse i nettet.

I modsætning til de andre ydelser er denne ydelse følsom over for, hvor i nettet forbrugerne er placeret. Elforbruget skal deles op i sammenhængende områder (fx under en given distributionstransformerstation).

Et særtilfælde af en flaskehals er "cold-load pickup", dvs. reetablering af forsyning efter et afbrud. Forbruget er typisk væsentligt højere i minutterne efter, at elforsyningen er reetableret. Hvis afbruddet sker, når vejret er koldt, vil alle huse der er elektrisk opvarmet trække fuld effekt for at varme husene op igen, hvilket giver stor risiko for overbelastning af distributionsnettet. Varmepumper er især slemme, fordi de har en varmepatron, som nemt kan fordoble den effekt, der normalt bruges til opvarmning. For at afbøde dette fænomen i Sverige har man den praksis, at varmepatroner ikke må koble ind i den første time efter et afbrud.

Hvem er de fleksible elforbrugere?

Rumopvarmning og bil-batteri-opladning er delvist fleksibelt i og med, at de begge har indbygget lager. Ved at fylde lageret op, eller tømme det, kan elforbruget flyttes i tid – potentielt over flere timer – uden at det går ud over slutbrugere. Der er dog nogle faste udgifter forbundet med styring af elforbrug, og jo større og jo mere fleksibel belastning er, jo større gevinst er der ved at etablere IKT-infrastruktur til styring. Husstandselforbrugere er forholdsvis små, typisk omkring 3 kW (i.e. under 16 A), og derfor skal de faste udgifter til styring holdes nede med simple systemer.

Større industriprocesser kan retfærdiggøre dyrere styresystemer, og derfor er det ingen tilfældighed, at SEV allerede har erfaringer med denne type kunde fra deres PowerHub. Det er svært at generalisere om industriforbrug, fordi det er meget individuelt, hvilke frihedsgrader en given industriproces har. Derfor vil dette afsnit fokusere på styring af apparater i husstande, såsom:

- A. Rumopvarmning
- B. Elbiler
- C. Hybridanlæg

A. Rumopvarmning er meget energikrævende og fleksibelt

En almindelig bygning kan lagre varme i mange timer, og det er teknisk muligt at øge en bygning varmekapacitet, når der bygges om eller bygges nyt.

En bygnings varmesystem er egnet til levering af alle de ydelser beskrevet i det foregående afsnit. Forskningsprojekter har vist, at klog styring af varmeapparater kan reducere elforbruget med næsten 30 % i korte tidsrum uden at genere kunderne. Dog vil responsen ikke kunne strækkes over mange timer, medmindre kunderne er villige til at acceptere en lavere rumtemperatur i disse timer, eller at de har en alternativ ikke-elektrisk varmekilde.

Nye bygninger skal i Danmark opfylde en række krav. Traditionelt har energieffektivitetskrav til bygninger specificeret et maksimum energiforbrug pr. kvadratmeter pr. år. For at tage højde for den variable tilgængelighed af VE kan det overvejes, om fremtidige krav til bygninger skal promovere fleksibilitet. Flexibilitet kan øges ved at designe en forhøjet varmekapacitet (også kaldet varmfylde). Derudover skal fleksibilitet gøres tilgængelig for elsystemet ved at vælge et bygningsstyringssystem, der har standardiseret grænseflade for at modtage signal fra netoperatøren. Denne grænseflade kan ligge fysisk ved varmeanlægget, fx i form af en 2-bit klemmerække som defineret i "German BWP Smart Grid Ready" enhed, eller over et IP-netværk, evt. igennem en tredjeparts datatjeneste (fx Nibe Uplink).

Der er sæsonudsving i rumopvarmningsbehovet, og dermed svinger potentialet for fleksibilitet over året. Varmebehovet om vinteren er 2-3 gange større end om sommeren. På grund af dette udsving skal netoperatøren i forbindelse med driftsplanlægning estimere mængden af det fleksible elforbrug, der er tilgængeligt alt efter vejrforhold.

Varmeforsyningen kan gøres endnu mere fleksibel ved at anvende kollektive varmforsyninger. Selv de mindste fjernvarmeverker optimerer deres elproduktion time for time, og de har ofte flere energikilder at vælge imellem. Der findes eksempler på kollektive varmforsyninger med varmelagre, der rummer flere dages termisk energi og sågar sæsonlagre for maksimum fleksibilitet.

B. Elbiler og deres batterier kan både optage og levere energi

Elbiler er egnede til at levere alle de nævnte ydelser.

Tilgængelighed af fleksibelt elforbrug fra elbiler varierer over døgnet og ugen, men ikke over året som rumopvarmning gør. Opladning forventes at ske regelmæssigt over natten, og selvom det tager op til 7 timer at lade batterierne op med 1-fasede 3 kW-tilslutninger, vil det give nogle fleksible timer at flytte rundt på. Hvis der er tale om 3-fasede 10 kW-tilslutninger, så er behovet og gevinsten ved styring størst.

En forudsigelig udfordring ligger i kogespidsen om eftermiddagen, når elbilsejerne kommer hjem og begynder at lade op på det tidspunkt af døgnet, hvor belastningen er højst. Der kræves ingen særlig styringsteknologi for at forebygge dette problem. Et simpelt tænd og sluk-ur er tilstrækkeligt. Udfordringen ligger i at motivere kunderne til at ændre adfærd.

Frekvensregulering fra elbiler demonstreres netop nu på kommercielle vilkår af Frederiksberg Forsyning i samarbejde med Danmarks Tekniske Universitet, Nissan og Enel. Demonstrationsprojektet viser, at frekvensstyring kan foregå fra en central operatør, dog med 4 sekunders forsinkelse. Dette projekt kan fremhæves som banebrydende, fordi elbilerne ikke kun varierer deres opladningseffekt, men også aflader deres batterier for at understøtte elnettet. Det er dog usikkert, i hvilket omfang kontrolleret afladning (kaldet "vehicle-to-grid" eller V2G) bliver understøttet af standard-elbiler i fremtiden, og der mangler erfaring med, hvordan batteriernes levetid bliver påvirket af V2G.

Standarden for elbilopladere, IEC 61851-1, angiver en protokol for, hvordan en ladestander kan styre opladningseffekten af en elbil. I standarden defineres en simpel pulse-width-modulering (PWM)-signal, som forventes at blive understøttet af alle elbiler i fremtiden. Dermed flytter intelligensen fra køretøjet til ladestanderen. Et selskab der ejer et netværk af ladestander er i stand til at aggregere dem og tilbyde elnettet et stort fleksibelt elforbrug.

C. Hybride biler og varmesystemer giver den største fleksibilitet

De fleste fleksible elforbrugere har et givent energibehov, og fleksibiliteten ligger i, hvornår de trækker el for at opfylde dette behov (her er tidspunktet det styrende). Der er dog andre fleksible elforbrugere, der har fleksibilitet i, hvilken energikilde de vælger for at opfylde energibehovet (her er energikilden det styrende). Disse elforbrugere er prisfølsomme, så for at et hybridsystem kan give mening, skal der ikke være store investeringer til de alternative energiforsyningskæder.

Varme og transport er i dag forsynet af fossile energikilder, men der findes (angiveligt) bæredygtige flydende kulbrinter fremstillet af biomasse, der måske kan leve op til Færøernes målsætning om lave emissioner. Det kunne åbne op for hybride anlæg.

Plug-in hybridbiler er på vej i masseproduktion og er attraktive, fordi de kombinerer fordelene med elektrisk drivkraft (høj effektivitet, hurtig acceleration) og en forbrændingsmotor (lang rækkevidde).

Hybride varmesystemer findes også. I fjernvarmesystemer er der altid flere varmekilder at vælge imellem, selv i de mindste værker. Til huse uden kollektiv varmforsyning er det typisk, at elopvarmede huse har en brændeovn som billig supplerende varmekilde. Et andet simpelt ek-

sempel er en elektrisk dypkoger tilføjet til et eksisterende oliefyr. Eller en varmepumpe installeret uden at afkoble oliefyret.

Hybride løsninger kan således være en lavrisiko-metode, hvor man gradvist kan øge elektrificeringen på den allermest fleksible måde.

Styring af det fleksible elforbrug

Dette afsnit belyser forskellige facetter af implementeringen af fleksibelt elforbrug.

Kommunikationssystemer skal tilpasses behovet

Bortset fra ved frekvensregulering kan fleksible elforbrugere kun aktiveres, hvis der er et kommunikationssystem, der leverer et styresignal fra netoperatøren. Der skal også være en styreboks, som modtager signalet og bringer det videre til forbrugsapparatet. Signalet kan også gå igennem en tredjeparts-aggregator, som kunne være producenten af elbil-laden/varmepumpen/lade-standeren.

Envejs-kommunikation er nok til at distribuere styresignaler i de fleste tilfælde. Velafprøvede billige systemer findes allerede, og de bruger enten Powerline-kommunikation (PLC, fx "ripple kontrol") eller radioafsendere (fx "radio ripple"). Hvis Færøerne har plads i deres radiospektrum, kan det være klogt for netoperatøren at reservere frekvenser til formålet. Sådant et envejs-kommunikationssystem vil være dedikeret til brug af elsystemet og af vedligeholdelse af netoperatøren. Alternativt kan netoperatøren være kunde hos en teleoperatør, som tilbyder kommunikationsprodukter med en infrastruktur, der deles med andre kunder.

En teleoperatør kan tilbyde tovejs-kommunikationssystemer, som kan bruges til at optimere og verificere responsen fra fleksible elforbrugere. IP-baserede trådløse 3G-/4G (LTE)-/5G-kommunikationssystemer har endnu ikke vist sig at være billige nok til at være interessante for styring af små kunder. Dog kan man forvente, at enhedsprisen vil falde i de kommende år, hvilket vil åbne op for anvendelse til mindre belastninger. Standardiserede smalbands- ("narrow-band") trådløse netværk dedikeret til maskine-til-maskine-kommunikation er kommet frem i den seneste tid, fx LoRa og Sigfox. De har dog ikke hyldevare-løsninger målrettet forbrugsstyring endnu, men de er under udvikling.

Styrebokse er nøglen til fleksibelt forbrug

Generelt har IKT-systemer en kort levetid. Derimod har hårde hvidevarer og køretøjer en længere levetid, dog stadig kortere end det typiske anlæg i elforsyningsnettet. Det er problematisk, hvis styresystemerne for fleksibelt elforbrug (inklusive software) forældes hurtigere end de apparater, de skal styre.

Den billigste løsning vil være, hvis apparaterne fødes med en styringsgrænseflade, der er standard. På sigt kan man forvente, at dette bliver virkelighed. Men protokollerne for styring af elforbrug er slet ikke modne nok til at forvente, at en kommunikationsprotokol, der bruges i dag, også kan anvendes uden ændringer i hele apparatets levetid. I det mindste skal protokollerne være veldokumenteret og åbne for alle til at bruge.

Der er nogle eksempler på apparatleverandører, der overvåger deres produkter over internettet. Samarbejder med disse leverandører kan resultere i grænseflader, hvor netoperatøren kan give

signaler til apparater igennem apparatleverandørens IKT-infrastruktur. Udfordringen er at blive enige om standardiserede protokoller, således at man ikke skal opbygge et nyt IKT-system for hver apparatleverandør. Administrationen, af hvilke apparater en netoperatør har lov til at styre, er en anden væsentlig udfordring.

På kort sigt peger disse forhold mod løsninger, hvor netselskabet har ejerskab over hele kommunikationskæden fra kontrolrummet til en dedikeret styreboks hos elforbrugeren. En langtidsholdbar løsning skal også have en ekstrem simpel grænseflade mod apparatet, fx en klemmerække med digitale signaler, eller et relæ der afbryder elforsyningen. Et relæ kan bruges til at afbryde elforsyningen til et apparat, hvorimod en digital grænseflade kan fortælle, om apparatet skal øge eller sænke belastningen. Forholdsvis simpel elektronik kan skræddersyes af standardkomponenter, hvor enhedsomkostninger til en styreboks med trådløst netværk koster under 500 DKK.

Styreboksen kan også være indbygget i elmåleren. Elmåleren kan styre belastninger ved at åbne/lukke relæer. En sådan elmåler kan have flere kredse, som kan styres individuelt, herunder fx en kreds, som prioriteres lavt og slukkes først, og en højprioritetskreds der holdes i gang til det sidste.

Fleksibelt elforbrug skal tænkes ind i planlægningen

Planlægningsprocessen skal vurdere konsekvenser af forskellige udbygningsscenarier og finde frem til det alternativ, der bedst afvejer ydelse, omkostninger og risici.

Fleksibelt elforbrug kan være svært at regne med i planlægningsfasen, fordi det er bagved elmåleren og ikke kan ses direkte. I Danmark har vi et Bygnings- og Boligregister (BBR), der har data over alle bygninger, inklusiv størrelse, byggematerialer og varmekilde. Indimellem kan der være tvivl om, hvorvidt data bliver opdateret, når en bygning er renoveret, men ellers er det et værdifuldt værktøj til energiplanlægning.

Ligesom med fluktuerende energikilder, hvor den faktiske elproduktion er en funktion af både den installerede kapacitet og vejret, vil de tilgængelige fleksible elforbrug variere meget fra time til time – afhængigt af menneskelig adfærd og vejret. Systemplanlægning skal derfor tage højde for det faktum, at forbruget kun er delvist styrbart. Uden erfaringsgrundlag vil estimater for responsen fra fleksibelt elforbrug være behæftet med betydelige usikkerheder. Her vil et lille pilotprojekt kunne danne et erfaringsgrundlag og illustrere en fordel med fleksibelt elforbrug, idet det kan tilføjes i små bidder. Dette i modsætning til andre energilagre, der kun kan opføres som store anlægsprojekter.

Når det kommer til at analysere kritiske situationer, kan man finde fleksible elforbrugere på tidspunkter, hvor der er stor sandsynlighed for, at de er aktive. Dermed kan man fokusere på disse elforbrugere, der er tilgængelige, når man har mest brug for dem. I varme lande er aircondition eksempelvis ofte årsag til overbelastning, og styring målrettet disse anlæg er meget effektivt.

Fleksibilitet er ikke gratis

Over 100-års erfaring har skabt en forventning om, at elsystemet kan levere al den energi, der ønskes, når den ønskes. Generelt arbejder forsyningsselskaber med et ret højt "cost of unreserved load" (flere hundred dkk. per kWh) for at prissætte omkostninger ved afbrydelser. At målrette aflastning på ikke-kritiske apparater vil reducere denne omkostning, men der er stadig en

risiko for, at kunderne generes af fleksible apparater. Dermed er fleksible forbrugere velegnede til anvendelser, hvor de aktiveres meget sjældent.

Hvis der ikke er plads i økonomien for øget kontant belønning for at tilbyde fleksibilitet, kunne man i stedet satse på at stimulere interessen for at deltage i energisystemet. Bornholm kan fremhæves som et eksempel på en ø, der har dyrket deres fremsynede energisystem som en kilde til lokal stolthed og opnået bredt opbakning til deres initiativer og eksperimenter. Færøerne kunne også prøve at opbygge goodwill hos kunderne, så deres motivation for at tilbyde fleksibilitet bliver lysten til at bidrage til lokalsamfundet.

Rebound-effekten kan forudses

Demand respons har som mål at minimere påvirkninger hos slutkunder. For processer med en eller anden form for lager kan lagerniveauet variere uden at påvirke slutkunden. På sigt skal lageret opnå en ligevægtstilstand, og det betyder, at hver gang man påtvinger en respons fra en forbruger, vil elforbrugeren efterfølgende kompensere ved et modsatrettet forbrugsmønster. Hvis man fx afbryder en varmepumpe i en time eller to, så vil temperaturen falde i vandtanken og i huset. Når der igen er frit spil for at bruge energi, vil varmepumpen tænde med det samme for at bringe temperaturen tilbage på normalniveau. Hvis der ikke tages højde for denne effekt, kan man risikere ustabil drift. En opdeling af de fleksible elforbrugere kan sikre en blød og gradvis respons, således at når en gruppe elforbrugere er færdige med deres respons, kan en anden gruppe tage over.

Responsen afhænger af de forudgående kommandoer, som er givet til enheden. For ikke at risikere at muligheden for fleksibilitet bliver helt udtømt, skal fleksibilitet aktiveres med så stort mellemrum, at man sikrer, at apparaterne er tilbage i normal ligevægtstilstand, før de aktiveres igen.

Baseline og validering sikrer, at forbruget har leveret fleksibilitet

Når man skal aktivere fleksibilitet og senere validere, at man har fået det man bad om, skal fleksibilitet måles i forhold til en baseline – det forbrugsmønster der ville være, hvis ikke der blev aktiveret fleksibilitet. Dette kontrafaktiske elforbrug kan estimeres ved at kigge på målinger taget umiddelbart før aktivering og kontrollere disse med en statistisk analyse af ældre forbrugsdata.

Validering af mindre forbrugsenheder er udfordrende, da der ofte ikke er plads i budgettet til en dedikeret elmåler til apparatet. I stedet kan afregningsmålingen fra hele husstandens elforbrug – som er en blanding af styrbare fleksible elforbrug og uflexible ukontrollerede elforbrug – analyseres.

Hvad sker der, hvis man tænder sit ukontrollerede komfur på samme tidspunkt, som varmepumpen får et slukkesignal? Måleren, der måler husstandens samlede elforbrug, kunne ende med at være uændret, selvom netoperatøren har fået den ydelse, de bad om. En overfladisk gennemgang af måledata er ikke nok til at sandsynliggøre, at systemet fungerer, som det skal. Her skal man anvende statistiske værktøjer for at adskille enkelte belastninger fra summålingen.

Tredjeparts-leverandører kan hjælpe med kundekontakt

SEV bør stå for hele udrulningen og vedligeholdelsen af forbrugsstyringssystemet, idet implementeringen af systemet vil blive komplekst og dyrt. Hvis der skal supporteres på en række ap-

parater fra flere producenter med hver deres specielle styreboks, kan det være svært for andre end SEV at administrere.

Energi-ydelse-leverandører ('Energy Service Companies' eller 'ESCO') kan skabe værdi ved at kontakte slutkunderne på vegne af netoperatøren. I første omgang vil professionelle energirådgivere kunne finde fleksible elforbrugere blandt storelfbrugere i industrien, men efterhånden som tiden går, må man forvente, at der vil blive udviklet løsninger til mindre og mindre elforbrugere. Kunderne kan overleveres til netoperatøren, som derefter står for driften.