

Rapport

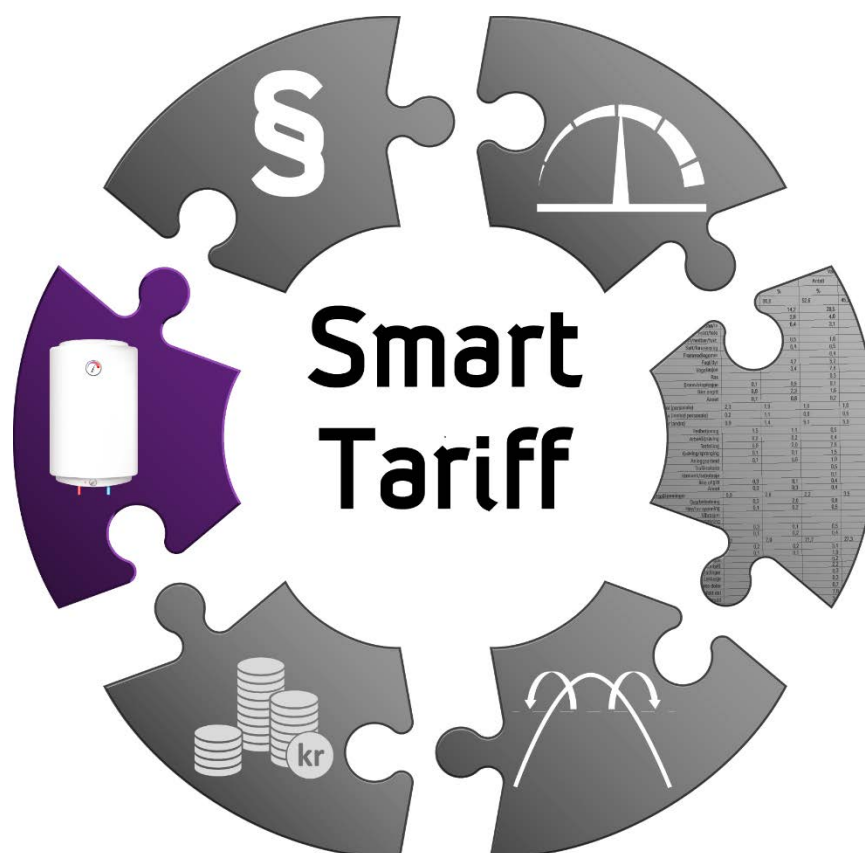
Forbrukerrespons

Muliggjørende teknologi og rammebetingelser

Forfatter(e)

Hanne Sæle

Ove S. Grande, Karoline Ingebrigtsen, Peter Ahcin



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Torgarden
7465 TrondheimSentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energi
Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Forbrukerrespons

Muliggjørende teknologi og rammebetingelser

EMNEORD:
Teknologi
Forbrukerrespons
AMS
Display
Laststyring**VERSJON**
1.0**DATO**
2018-02-19**FORFATTER(E)**
Hanne Sæle
Ove S. Grande, Karoline Ingebrigtsen, Peter Ahcin**OPPDRAGSGIVER(E)**
EnergiNorge**OPPDRAGSGIVERS REF.**
Ketil Sagen**PROSJEKTNR**
502000688**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**
43**SAMMENDRAG**

Denne rapporten er utarbeidet i forbindelse med SmartTariff-prosjektet (2014-2018). Prosjektet skal utvikle og evaluere ulike modeller for utforming av nettleietariffer og kraftprodukter, som vil kunne utnytte ny tilgjengelig teknologi og bidra positivt til utvikling og drift av fremtidens smarte distribusjonsnett.

I rapporten beskrives rollefordeling, motivasjon for utnyttelse av fleksibelt forbruk og aktuell teknologi for styring av aktuelle reguleringsobjekter. Dette inkluderer måle- og styringssystemer som ut fra ulike kriterier er benyttet kommersielt og i testprosjekter, og hva som er fleksibelt forbruk hos ulike typer kunder.

Muligheter for innovative løsninger som tilfredsstillende økonomiske og tekniske rammebetingelser er diskutert. Krav til kostnadseffektivitet tilsier at styringssystemer må være enkle, og at styring av de mest effektive "kontrollobjektene" prioriteres.

UTARBEIDET AV
Hanne Sæle

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**
Andrei Z. Morch

SIGNATUR

**GODKJENT AV**
Knut Samdal

SIGNATUR

**RAPPORTNR**
2017:00798**ISBN**
-**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Forutsetninger og rammebetingelser	5
1.2	Omlegging av nettariffen - Effektpris som styringskriterium	6
1.3	Definisjoner	7
1.4	Forkortelser.....	8
2	Rollefordeling, informasjon og motivasjon	9
2.1	Inntjeningspotensial for fleksible kunder	9
2.1.1	Utnyttelse av variasjoner i markedspris	9
2.1.2	Tilpasning til nettariff.....	11
2.1.3	Avtaler om ut-innkobling av forbruk / fleksibilitetsmarked	11
2.2	Miljøeffekt.....	12
2.3	Kundepreferanser og restriksjoner	12
3	Teknologier for måling, informasjon og styring	13
3.1	Avanserte Måle- og Styringssystemer (AMS).....	13
3.2	Display, informasjon, web-baserte applikasjoner.....	13
3.3	Laststyring	14
3.3.1	Sentral styring (remote control)	14
3.3.2	Lokal styring	14
3.4	Fleksibelt forbruk som systemtjeneste.....	15
3.4.1	Automatisk frekvensregulering (Primærregulering).....	15
3.4.2	Fleksibelt forbruk i Regulerkraftmarkedet	15
4	Kategorisering av fleksibelt forbruk	16
5	Potensiale og teknologi til fleksibelt forbruk innen ulike kategorier	18
5.1	Fleksibilitet fra forbruk med termisk lagringskapasitet	18
5.1.1	Varmvannsberedere	18
5.1.2	El-kjeler	19
5.1.3	Kjøle- og fryse-installasjoner	19
5.1.4	Varmepumper/aircondition.....	19
5.1.5	Panelovner	20
5.1.6	Snøsmelteanlegg.....	20
5.2	Fleksibilitet fra plusskunder	20
5.3	Fleksibilitet fra energilager	20
5.3.1	Stasjonære batterier.....	20

5.3.2	Mobile batterier (elbil)	21
5.4	Fleksibilitet fra belysning	22
5.5	Fleksibilitet fra næringsbygg	22
6	Eksempler på fleksibilitet fra forbruk innen ulike kategorier	23
6.1	Fleksibilitet fra forbruk med termisk lagringsmulighet	23
6.1.1	Varmvannsberedere	23
6.1.2	Elkjeler	23
6.1.3	Varmepumper/aircondition.....	24
6.1.4	Kjøle- og fryseinstallasjoner.....	25
6.2	Fleksibilitet fra energilagring	26
6.2.1	Stasjonære batterier.....	26
6.2.2	Mobile batterier (elbiler).....	27
6.3	Fleksibilitet fra næringsbygg	28
6.3.1	Butikklokale	28
6.3.2	Tambartun	29
7	Kostnadseksempler for realisering av fleksibilitet.....	30
7.1	Strømstyringssystemer i boliger	30
7.1.1	Philips Hue lysstyringssystem	30
7.1.2	WiDim smart universal WiFi-dimmer	30
7.1.3	Nexa/Cotech Smart Home, Telldus og Zipato	30
7.1.4	DEFA HyttaMi.....	31
7.1.5	xComfort	31
7.1.6	Futurehome	31
7.2	Stasjonære batterier	32
7.3	Mobile batterier (elbil).....	34
7.3.1	Smarte elbil-ladere	35
8	Oppsummering.....	36
8.1	Rammebetingelser, insentiver og teknologi for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet	36
8.2	Realisering av fleksibilitet - Teknologi og FoU-utfordringer	37
9	Litteraturreferanser.....	39

1 Innledning

Denne rapporten er utarbeidet i forbindelse med SmartTariff-prosjektet (2014-2018). Prosjektet skal utvikle og evaluere ulike modeller for utforming av nettleietariffer og kraftprodukter, som vil kunne utnytte ny tilgjengelig teknologi og bidra positivt til utvikling og drift av fremtidens smarte distribusjonsnett.

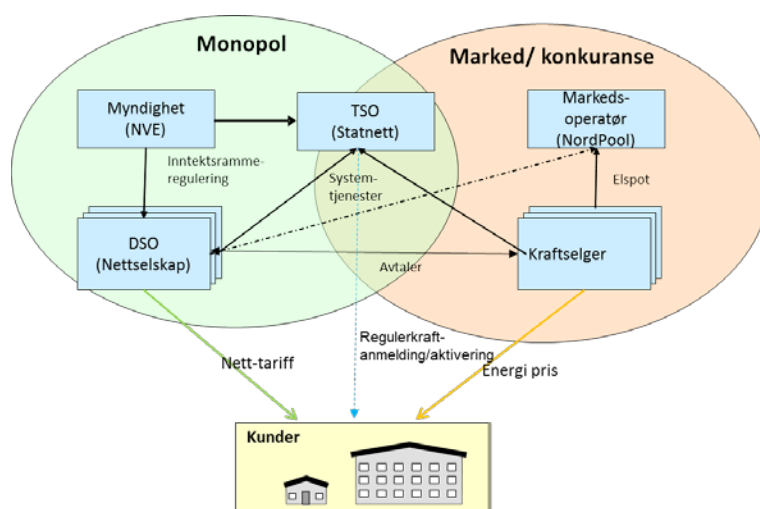
Hovedtemaet i rapporten er måle- og styringssystemer som ut fra ulike kriterier er benyttet kommersielt og i testprosjekter, og hva som er fleksibelt forbruk hos ulike typer kunder. Dessuten er muligheter for innovative løsninger som tilfredsstillende økonomiske og tekniske rammebetingelser diskutert. Krav til kostnads-effektivitet tilsier at styringssystemer må være enkle, og at styring av de mest effektive "kontrollobjektene" ($\Delta kWh/h$) prioriteres. Eksempler på aktuelle måle- og styringssystemer, kontrollobjekter er presentert og vurdert. Betydningen av valg av ulike teknologier for å kunne respondere effektivt på økonomiske insentiver, er også kommentert.

1.1 Forutsetninger og rammebetingelser

Betalingsviljen for styringsteknologi avhenger av verdien på kundenes forbrukerfleksibilitet. Denne verdien hentes fra et deregulert kraftsystem hvor infrastruktur og nettrelaterte kostnader er monopolregulert og kraftomsetningen foregår i fri konkurranse. Nettkostnader betales gjennom nettariffer og kjøp/salg av systemtjenester begrenset av en godkjent inntektsramme. Pris på energi derimot fastsettes fortløpende avhengig av ressurstilgang, etterspørsel og overføringskapasitet.

I figur 1.1 er dette illustrert med myndighetene (NVE) og nettselskap på monopolsiden og markedsoperatør (Nord Pool/Elspot) og kraftselgerne er på marked-/konkurransesiden. Systemoperatør/TSO¹ (Statnett) er som netteier og tilrettelegger for det frie markedet, plassert overlappende mellom monopol og konkurranse.

Sett fra kundene (husholdning og næring) vil tilpasning av forbruk til det samlede prissignalet nett/marked og utnyttelse av fleksibilitet til aktiv deltagelse i balansereguleringen være utgangspunktet for kostnadsreduksjon (lavere strømregning) og fortjeneste.



Figur 1.1 Aktører i kraftsystemet, gruppert ut fra monopolaktører og markedsaktører

¹ TSO = Transmission System Operator

1.2 Omlegging av nettariffen - Effektpris som styringskriterium

Effekt anses som en viktigere kostnadsfaktor i framtidens nett enn økt energiforbruk, som følge av forventet økt effektforbruk de kommende årene. NVE har derfor foreslått at nettariffen skal gi insentiv til reduksjon av kundenes maksimaleffekt (ref. høringsdokument NVE [1]). Følgende tre modeller ble framlagt som alternativer for å få dekket nettkostnadene:

1. Effektledd (kr/kW) basert på målt effektuttak
2. Effektledd (kr/A eller kW) basert på sikringsstørrelse
3. Effektledd basert på abonnert effekt
 - a. Med mulighet for overforbruk
 - b. Med bruk av bryterfunksjonalitet i AMS måler

Prinsippet om lik behandling av kunder forutsetter at alle kundergrupper innen nettområdet skal ha samme tariff. Det legges altså ikke opp til at kunde grupper/kunder som kan påvirke en lokal flaskehals i et nett-område, kan gis egne driftsavhengige tariffer. I stedet vises det til behovet for å utrede et lokalt fleksibilitets-marked, der f.eks. kunder bak en flaskehals kan bidra med kontraktfestet fleksibilitet når nettselskapet har behov. I en rapport [2] utarbeidet for NVE, anbefales det å vurdere innføring av en markedsløsning som bygger videre på dagens ordning for "Utkoblbart forbruk" med prising for reservasjon og ikke for aktivering.

Utformingen av tariffen er avgjørende for hvilken styringsstrategi som er mest hensiktsmessig, som f.eks.:

- Dersom **kundens maksimallast** uansett tid på døgnet er kriteriet, vil av/på-styring av fleksibelt forbruk referert målepunktets abonnert effekt, sikringsstørrelse etc. være det mest nærliggende.
- Dersom **nettets begrensinger** er utgangspunkt for prising, vil nettselskapets forbruksprofil være en viktig indikator for hvilke perioder styring av fleksibelt forbruk kan gi en gevinst. En eventuell inndeling i forventede topp- og lavlasteperioder over døgnet (Time of Use (ToU)/ Time of Day (ToD)) i tariffen gir mulighet for flytting av forbruk ved enkle kontrollfunksjoner.

Utnyttelsen av kundens fleksibilitet er som nevnt foran, avhengig av samspillet mellom marked og nett. Når timeregistrering til "alle", og nasjonale datahuber [3] er etablert, forventes det at deler av forbruket vil tilpasse seg prisvariasjonene på timebasis i Elspot. Den viktigste endringen er at alle kunder ved innføring av ny strømmåler (AMS²) vil få registrert forbruket med tilsvarende tidsoppløsning som markedet og dermed får mulighet til avregningsmessig godtgjørelse for kortvarige forbruksendringer. Dette kan medføre store endringer i forbruksprofilen ved at forbruk flyttes til de lavest prisede timene. Om dette skjer, vil markedsrespons medføre en utflating av forbrukskurven og dermed en avlastning av nettet på (alle nivå) i topplast.

Etablering av bæredyktige forretningsmodeller for aktiv utnyttelse av forbrukerfleksibilitet har vist seg å være en viktig utfordring siden alle aktørledd i modellen må ha et økonomisk utbytte. Spesielt kritisk vil betalingsviljen for nødvendig styringsteknologi være, og små marginer kan legge en demper på markedsmulighetene for avanserte løsninger. Dette aspektet er diskutert i kap. 2.

² AMS = Avanserte Måle- og Styringssystemer

1.3 Definisjoner

Måling:

- Hovedmåler har i dag timeregistrering for kunder med årsforbruk over 100 000 kWh. Når AMS er installert innen 1.1.2019 som forutsatt i Forskrift om måling og avregning [4], vil alle kunder få mulighet for timeregistrering (dvs. måling av gjennomsnittlig energiforbruk over en time (kWh/h)). I følge forskrift skal det også være mulig å endre registreringsfrekvens ned til hvert 15. minutt.
- Komponentmåling (ikke krav om dette iflg. forskrift) kan gjennomføres f.eks. ved direktemåling av enkeltapparater (måleutstyr plassert i stikkontakt) eller ved måling på elektriske kurser i sikrings-skap. Måling av enkeltbelastninger, som skal brukes til f.eks. ubalanseregulering (Regulerkraft-markedet) og/eller ved lokale flaskehals, kan være en forutsetning for å oppnå slike fleksibilitets-kontrakter. Et alternativ er at tjenesteleverandører, aggregatorer og andre som tilbyr utkoblings-tjenester, også etablerer komponentmåling for dokumentasjon.

Styring:

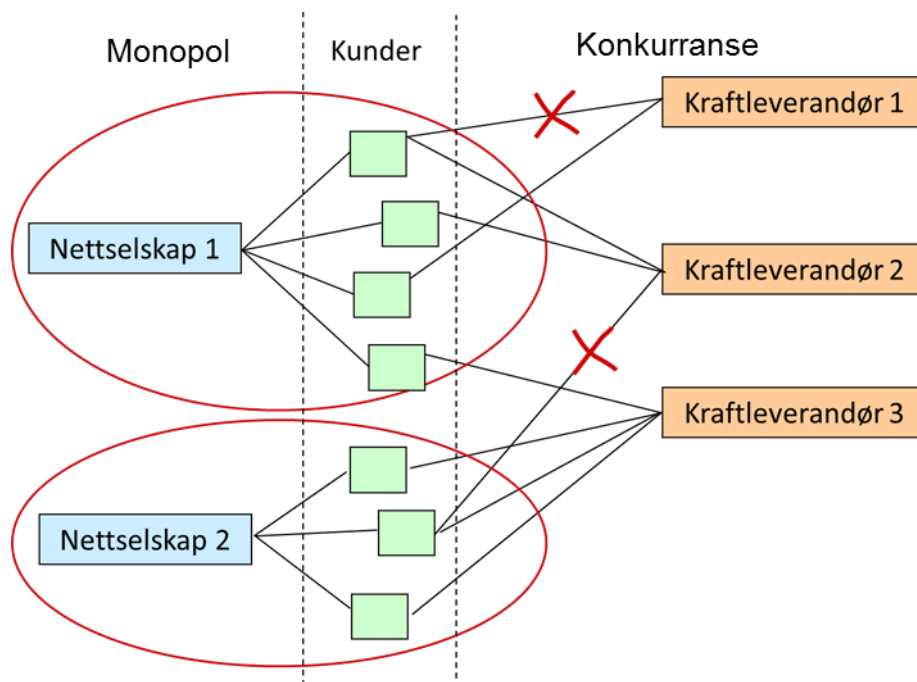
- Respons på pris og eller "kommando".
 - Lokal styring kan være manuell eller automatisk, basert på prissignaler, lyssignaler o.l. som er lokalt tilgjengelige. Kunden avgjør selv hvordan fleksibilitet i forbruk skal respondere på det aktuelle kriteriet.
 - Fjernstyring/Sentral styring kan være fysisk styring fra driftssentral, automatisert ut fra informasjon til "sky"-applikasjoner, fjernstyring av enkeltkurser via reléer i AMS o.l. Fjernstyring krever kundeaksept og avtale om at forbruksenhet kan styres av andre.
- Optimalisering av forbruk over tid (f.eks. døgn) ved utnyttelse av fleksibilitet.
 - Sentrale driftskontroll-anlegg (SD-anlegg) (næring, industri).
 - "Home automation"/Smarthus.
- Optimalisering av en portefølje av kunder over tid.
 - Aggregering av kunderespons.
 - Aggregering av forbruksrespons fra utvalgte komponenter.
- Ulike kontroll-løsninger som er avhengig av driftsrestriksjoner på utstyret.
- Fleksibelt forbruk.
 - Flyttbart forbruk er forbruk med kortsiktig lagringskapasitet.
 - Ut-/innkoblbart forbruk (uten gjenvinning av energi) er avhengig av betalingsvilje for aktuelt forbruk og/eller kompensasjon for bidrag.

1.4 Forkortelser

AMS	- Avanserte Måle- og Styringssystemer
BM	- Balancing Market (Regulerkraftmarkedet)
DA	- Day Ahead market (Elspot)
DEMS	- Distributed Energy Management System
DR	- Demand Response
DSO	- Distribution System Operator
ENTSO-E	- European Network of Transmission System Operators for Electricity
FCDM	- Frequency Controlled Demand, utkobling av forbruk ved overlagret frekvenssignal
FCR	- Frequency Containment Reserve (Primærreserve)
FRR	- Frequency Restoration Reserve (Sekundærreserve)
FRR-M	- Manual Frequency Restoration Reserve (Tertiærreserve)
GETS	- Grid-Interactive Electrical Thermal Storage
ID	- Intraday market
IP	- Internet Protocol
PLC	- Power Line Communication
PLMA	- Peak Load Management Alliance (www.plma.org)
PV	- Photovoltaic
Ripple control	- Styringsignal basert på frekvensmodulasjon, sendt via strømmettet
RK	- Regulerkraft
RKM	- Regulerkraftmarked
RKOM	- Regulerkraftopsjonsmarkedet
SD-anlegg	- Sentrale driftskontroll-anlegg (lokalt hos kunde)
ToD	- Time-of-Day
ToU	- Time-of-Use
TSO	- Transmission System Operator
V2B	- Vehicle-to-Building
V2G	- Vehicle-to-Grid
V2H	- Vehicle-to-Home
VVB	- Varmtvannsbereder

2 Rollefordeling, informasjon og motivasjon

For å kunne etablere bæredyktige forretningsmodeller for aktiv utnyttelse av forbrukerfleksibilitet, må det være et økonomisk utbytte for alle involverte aktører. Kunden er fast knyttet til et nettselskap, men kan effektivt skifte kraftleverandør (Se figur 2.1). I en framtidig "leverandørsentrisk" modell ser kraftleverandøren ut til å bli det eneste kontaktpunktet for kunden [5], med bl.a. felles faktura for kraft og nett. Nettselskapets kundekontakt vil dermed begrenses betydelig og kunder som skifter kraftleverandør ofte vil også mangle et fast kontaktpunkt for fleksibilitetsløsninger. Spørsmålet om ansvar for informasjon og motivasjon for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet er m.a.o. uklart. Dette gir rom for nye aktører, f.eks. aggregatorer, som kan kjøpe og selge fleksibilitet for spesielle formål, supplert med teknologi for formålet.



Figur 2.1 Kunderelasjoner i framtidens kraftmarked

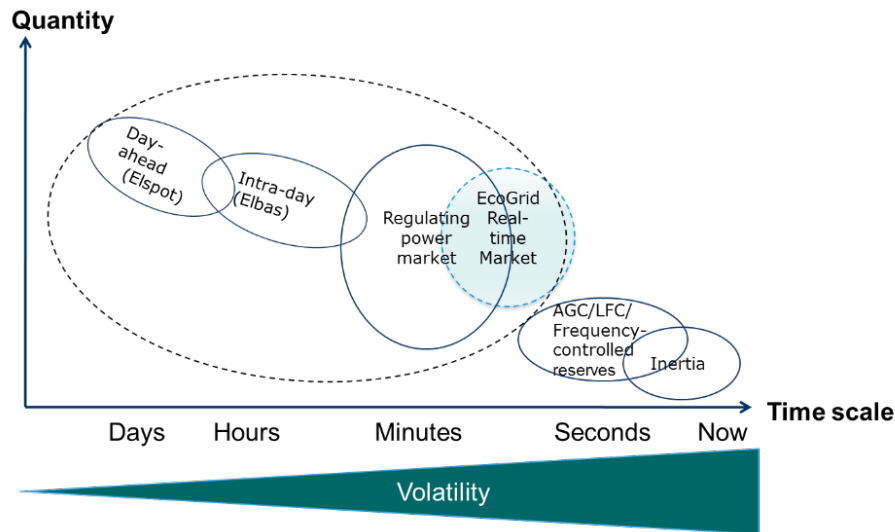
2.1 Inntjeningspotensial for fleksible kunder

2.1.1 Utnyttelse av variasjoner i markedspris

Det forutsettes at kraftleverandørene tilbyr kraftprodukter med tidsoppløsning som samsvarer med de organiserte "fysiske" markedenes oppløsning (Elspot, Regulerkraft). Husholdnings-, kommersielle- og industrikunder har dermed mulighet til å redusere kostnader ved å tilpasse seg prisvariasjonene og delta direkte i markedet med prisfleksible bud.

Volatilitet (prisvariasjon) i markedet er avgjørende for hvor mye en kunde kan redusere sin strømregning ved å tilpasse sitt forbruk til pris.

Figur 2.2 viser hvordan prisforskjellene (volatiliteten øker) når en nærmer seg "kjøretidspunktet" (real time). Gevinstmuligheten (kr/kWh) er altså større i Regulerkraft- (balanse-) markedet enn i Elspot. Gevinsten er imidlertid volumavhengig og høyere endringspotensial i Elspot må tas med i regnestykket.



Figur 2.2 Prissetting i kraftmarkedet - med ulikt volum og ulik volatilitet [6]

Forbruksreduksjon i topplast er det viktigste argumentet for forbrukerfleksibilitet i mange land. Incentiver til endring av forbruksmønster hvor kundene unngår å bruke strøm til oppvarming, kjøling, klesvask, tørking o.l. i timer med forventet høy belastning vil bidra til samfunnsøkonomiske gevinster i form av redusert nettbelastning og nettap i topplast, redusert CO₂-utslipp fra topplastproduksjon og et generelt lavere prisnivå.

Prisnivået i januar 2010, da de hittil høyeste Elspot-prisene oppstod som følge av flaskehals mellom Sør-Norge og resten av Norden (12-14 kr/kWh i time 9, nordisk topplasttime), kunne (iflg. NordPool) for eksempel vært tilnærmet eliminert med en 100-200 MWh/h forbruksreduksjon i Norden utenom Sør-Norge. Potensialet ved utkobling av varmtvannsberedere (VVB) og/eller elbilladning i noen få timer i det aktuelle nettområdet overstiger godt behovet. (NB! Utligning av Elspotpris forutsetter at prisleksibelt forbruk blir anmeldt på forhånd og dermed blir en del av prisberegningen. Respons på pris *etter at pris er satt*, kan medføre betydelige regulerkraftkostnader³ ved ekstreme priser, ref. erfaringer fra januar 2010.)

Det er imidlertid generelt en utfordring at prisvolatiliteten i Elspot normalt er liten og mulighetene for besparelser ved flytting av forbruk er begrenset. Erfaringer fra pilottest i Malvik i forbindelse med forskningsprosjektet "Markedsbasert Forbrukstilpassning", tyder på at en mulig årlig gevinst ved systematisk flytting fra høypris- til lavpristimer i Elspot ligger i størrelsesorden 150 – 200 kr / ΔkWh/h/år. Energimyndighetene i Sverige antyder ca. 1 kr/døgn (dvs. 3-400 kr /år) [7]. Med en utstyrs kostnad på ca. 3000 kr for styringsteknologi, innebærer dette at det vil ta 3-4 år før en anskaffelse gir gevinst.

Fleksibelt forbruk i industri har i flere år vært en del av reserven som brukes i Regulerkraftmarkedet (basert på kontrakter i RKOM). ENTSO-E's nye grid code "Balancing" [8] forutsetter at det legges til rette for at mindre forbrukere kan bidra til balanseringen. Potensialet er nylig demonstrert ved testing av et mulig nytt markeds konsept (med 5 min tidsoppløsning) i EU-prosjektet EcoGrid EU (2011-2015) [9] hvor husholdnings- og næringskunder bidro med automatisk regulering av forbruk ned eller opp avhengig av balanseringsbehovet.

³ Avregningsmessig er i dag balanseansvarliges elspotkontrakt for den aktuelle timen utgangspunktet for ubalanseoppgjøret. Dersom målt forbruk har ligget lavt i forhold til elspotkontrakt og det er behov for nedregulering pga. positivt frekvensavvik, vil vedkommende få et regulerkraftoppgjør som dekker kostnaden tilsvarende balanseansvarliges andel av oppreguleringsbehovet.

2.1.2 Tilpasning til nettariff

Nettariffen kommer ingen utenom. Tilpasning til denne prisen vil derfor alltid gi en gevinst for kunden. Dette er grunnen til at mange bedrifter (med forbruk >100 000 kWh/år) med timeavregning og effekttariff lenge har forsvart investeringer i såkalte lokale driftskontroll-anlegg (SD-anlegg) som har optimalisert driften i forhold til effekttariffen ved å redusere maksimalforbruket.

Godkjent inntektsramme er utgangspunktet for nettselskapet som må sørge for at inntekter fra kundene gjennom nettariffen tilsvarer inntektsrammen. Eventuell mer-/mindreinntekt på grunn av endret adferd må korrigeres inn ved fastsettelse av tariff for senere år. Når en kunde endrer/reduserer forbruket sitt ut fra nettariffen, vil det i praksis medføre en omfordeling av kostnader til fordel for fleksible kunder.

Innretningen av tariffen er imidlertid avgjørende for om kundersresponsen bidrar til utsatte investeringer, lavere tap etc. som ofte er begrunnelsen for bruk av bruksavhengige tariffledd. Utfordringen er at store deler av distribusjonsnettene har overkapasitet. Det betyr at lik nettariff til alle kunder i et nettområde vil gi insentiv til fleksibilitets tiltak som ikke har betydning for nettet. Dersom tariffen gir samme straff for kundens overforbruk hele døgnet, vil kunder med makslast utenom nettets maks i tillegg påføres kostnader som ikke kan begrunnes med effektiv nettutbygging. Det er derfor all grunn til å vurdere mulighetene for tidsdifferensiering av tariff som det også er åpnet for i NVEs høringsdokument [1]:

Under forutsetning av at tariffing basert på effekt skal uttrykke kundens effektansvarlighet, kan det være urimelig at kunder med effektuttak under høylast betaler det samme som kunder med effektuttak under lavlast. En måte å løse dette på, er å sette en høyere pris på effekt i perioder hvor det samlede effektuttaket er høyt, enn i perioder med lavere samlet effektuttak.

Virkingen av framtidig atferdsendring referert kraftpris (Elsport) må også tas i betraktning ved vurdering av nettnytte.

2.1.3 Avtaler om ut-innkobling av forbruk / fleksibilitetsmarked

Eksisterende fleksibilitetsmarked i Norge innebærer at det i konkurranse med andre tilbydere, inngås tidsbegrensede kontrakter hvor kunden får en godtgjørelse for å forplikte seg til å bidra med produksjons- eller forbruksendring. Det betales RK-pris definert av dyreste aktiverte reguleringsobjekt.

Kraftleverandører, aggregatorer, ol. antas å ha sentrale roller i et framtidig fleksibilitetsmarked som omfatter mindre kunder ved at aggregerte porteføljer selges i et marked hvor nettselskap og balanseansvarlige er kjøpere.

En viktig erfaring gjort i flere land (bla. Frankrike) er at fleksibilitetskontrakter bør suppleres med en avklaring med kundens balanseansvarlige (normalt kraftleverandør) om økonomisk ansvar. Aggregatorer som tilbyr styring av enkeltlaster og/eller porteføljer (av f.eks. VVB) for kunder, kan altså risikere krav om kompensasjon fra balanseansvarlige aktører for ubalansekostnader som oppstår pga. regulering for et annet formål.

2.2 Miljøeffekt

Spørreundersøkelser fra 2004 [10] viser gjennomgående at pris/økonomisk gevinst verdsettes høyere enn miljø. I senere prosjekter (bla. "EcoGrid EU" [11]) viser kundeundersøkelsene at argumentasjon/dokumentasjon/informasjon f.eks. vedrørende:

- Betydning for realisering og drift av vind- og solproduksjon og henvisning til EUs 20-20-20 mål⁴
- CO₂-gevinst som følge av systematisk reduksjon av topplast⁵

har stor betydning for mange kunder som motivasjonsfaktor for å delta i testprosjekter og eksempelvis akseptere automatisk styring av forbruk. Tilsvarende miljøfokus har man også sett i norske prosjekter, bl.a. "Miljøgevinst ved velfungerende AMS i full skala" [12] og uttesting av kundedisplay.

Virkning av miljøargumenter for fleksibilitet er avhengig av form og generelt samfunnsfokus på miljøaspekter.

2.3 Kundepreferanser og restriksjoner

Erfaringer fra demonstrasjonsprosjektet "EcoGrid EU" [11] hvor ca. 1900 husholdningskunder deltok, var at komfort er en viktig premisse for deltagelse. I dette prosjektet ble derfor all automatisk styring begrenset av øvre og nedre temperaturgrense som kunden selv kunne stille inn via et display i huset. I Malvik-piloten i prosjektet "Markedsbasert Forbrukstilpasning" (MabFot) [13] ble overstyringsbryter installert slik at kundene kunne gjeninnkoble varmtvannsbereeder for å unngå kaldt vann.

Noen kunder synes å ha motforestillinger mot å gi fra seg kontroll over eget utstyr, f.eks. når elbilen skal lades. Lokal prisinformasjon og gjerne råd om tiltak som det er opp til kunden å iverksette, kan derfor være et attraktivt alternativ. Informasjon og fleksible avtaler er å anbefale.

Mye tyder likevel på at avtaler om utkobling for spesielle formål (flaksehals, spenning etc) som forventes å opptre sjelden, er lettere å få aksept for dersom kompensasjonen er akseptabel.

For kraftsystemet vil denne type forhold medføre at responsen som oppnås vil variere og være vanskelig å forutse. Dette gjelder selvsagt også forbruk generelt fordi samtidighet av forbruk er tilfeldig. Dersom tid på døgnet vil være en entydig indikator på når det lønner seg å redusere forbruk, er det imidlertid stor sannsynlighet for at utflating av forbrukskurven vil være godt synlig og ha betydning for driften.

⁴ EUs 20-20-20 mål er å ha en reduksjon i klimagassutslipp på 20% sammenlignet med nivåene i 1990, 20% av energi i EU fra fornybare kilder, og 20% økning i energieffektivitet [69]

⁵ Topplastproduksjon ("backup production") er ofte mer forurensende enn grunnlastproduksjon og trenger ofte lang tid på å bli produksjonsklar [68]

3 Teknologier for måling, informasjon og styring

Dette kapitlet gir en oversikt over teknologier som kan gi muligheter for tidsbegrenset respons, avhengig av ulike insentiver.

3.1 Avanserte Måle- og Styringsystemer (AMS)

I flg. Forskrift om måling og avregning [4], skal Avanserte Måle- og Styringsystemer tilfredsstille følgende funksjonskrav (§4-2):

- a) lagre måleverdier med en registreringsfrekvens på maksimalt 60 minutter, og kunne stilles om til en registreringsfrekvens på minimum 15 minutter,
- b) ha et standardisert grensesnitt som legger til rette for kommunikasjon med eksternt utstyr basert på åpne standarder,
- c) kunne tilknyttes og kommunisere med andre typer målere,
- d) sikre at lagrede data ikke går tapt ved spenningsavbrudd,
- e) kunne bryte og begrense effektuttaket i det enkelte målepunkt, unntatt trafomålte anlegg,
- f) kunne sende og motta informasjon om kraftpriser og tariffier samt kunne overføre styrings- og jordfeilsignal,
- g) gi sikkerhet mot misbruk av data og uønsket tilgang til styrefunksjoner og
- h) registrere flyt av aktiv og reaktiv effekt i begge retninger.

Norges vassdrags- og energidirektorat kan etter søknad i særlige tilfeller gi dispensasjon fra enkelte funksjonskrav.

Nettselskapene skal innen 1. januar 2019 ha installert AMS i alle målepunkt i sitt konsesjonsområde ifølge forskriften.

Forskriften pålegger kun styring (av bryterfunksjonalitet) på hele målepunktet. Investering i eventuell teknologi for styring av enkeltkurser og/eller forbruksenheter er opp til nettselskapet, kunden selv eller annen tjenestetilbyder (aggregator, o.a.).

Nettselskapet skal dessuten legge til rette for at de sluttbrukerne som ønsker dette, skal kunne tilknytte et display eller annet eksternt utstyr til måleren. Kraftleverandør skal kunne sende prisinformasjon og nettselskapet tariffinformasjon til et evt. display.

3.2 Display, informasjon, web-baserte applikasjoner

Grensesnitt fra AMS-måleren som legger til rette for kommunikasjon med eksternt utstyr, kan utnyttes til lokale informasjonssystemer (f.eks. display) og til prosessering av sanntidsdata. Relativt ferske data vil i større grad bli tilgjengelig via internett, bl.a. fra en planlagt sentral datahub (Elhub) og/eller kraftselger. Dette vil gi stort rom for effektive web-baserte applikasjoner med styringsfunksjoner. Uttesting av slike applikasjoner har vært en del av flere internasjonale smartgrid-prosjekter.

3.3 Laststyring

3.3.1 Sentral styring (remote control)

Direkte styring

I flere piloter som er gjennomført i Norge, er direkte kontroll av forbruksenheter (f.eks. VVB) og/eller sikringskurser via reléer på "smarte" målere benyttet [13] [14] [15].

Dessuten kan det etableres avtaler hvor fleksibelt forbruk kan kobles ut fra driftssentraler som en systemtjeneste. Gevinsten for kunden er avhengig av nettselskapets betalingsvilje for tjenesten og kostnader for nødvendig teknologi. Kundens fortjenestemulighet har vist seg å være vanskelig å dokumentere, spesielt i testprosjekter hvor utstyrs-kostnaden er langt høyere enn for framtidig masseproduksjon i kommersielle produkter.

"Broadcast", "ripple control" etc.

Masseutsending av signal for utkobling (broadcast) har blitt brukt i andre land. New Zealand [16] har f.eks. benyttet såkalte rippelsignal for ut- og innkobling av VVB for å avlaste nettet i anstrengte situasjoner siden 50-60-tallet. Slike systemer er fortsatt i bruk. Ripple-signalet sendes ut på strømmettet og kobler ut alle VVB'ene som er tilknyttet systemet. Gjennomsnittlig utkoblingstid er under 3 timer, noe som i de fleste tilfellene ikke påfører kundene ulemper i form av kaldt vann. Nyere "broadcast" systemer benytter nå PLC eller radio- og IP-baserte kommunikasjonskanaler.

Styrbare termostater via broadcast

I California har det en tid vært arbeidet med rammebetingelser og teknologi for fjernstyring av termostater for å kunne regulere varme- og eller luftkjølingsforbruk for grupper av forbrukere ut fra gitte kriterier knyttet til forsynings-situasjonen. California Energy Commission har foreslått regler for tiltaket med anbefalte teknologiske løsninger som tar hensyn til kunderestriksjoner [17].

Avansert styring av aggregerte porteføljer basert på sentrale kriterier tilgjengelig i "nettsky"

I "EcoGrid EU"-prosjektet ble det utviklet en markeds-plass-applikasjon som sender ut prissignaler som avspeiler ubalansekostnadene i nettet. Prissignalene, som har 5 min. tidsoppløsning, lagres i en "sky" hvor involverte teknologileverandører har tilgang til dataene. Deres applikasjoner optimaliserer forbruk over tid (basert på prisprognoser og 5-min. priser), og sender så styringssignaler til en portefølje av kunder med fleksibelt forbruk.

3.3.2 Lokal styring

Informasjon om kraftmarkedspriser og nettarriffer skal iflg. AMS-kravene fra NVE gjøres tilgjengelig via måleren. Allerede i dag er imidlertid prisinformasjon tilgjengelig via internett. Elspot-prisene for kommende døgn er f.eks. tilgjengelig på <http://www.nordpoolspot.com/> ca. kl 14 hver dag. Dette gir god tid for å planlegge en optimal tilpasning til kraftprisene ved å flytte eller unngå forbruk i høypristidene.

Manuell og/eller automatisk styring ut fra tidspunkt på døgnet med forventet høyt forbruk og pris kan realiseres ved enkle tiltak. Informasjon om perioder en bør unngå å bruke strømkrevende utstyr er benyttet i flere prosjekter (f.eks. ved bruk av magnetbrikke i "MabFot" [13]) med god respons.

Forøvrig finnes flere styringssystemer i kategorien smarthus hvor selve styringssystemet er montert i huset (eller hytta) og eieren har mulighet for å sende kontrollsignaler via en mobil-app (Se kostnadseksempler i kap. 7).

3.4 Fleksibelt forbruk som systemtjeneste

De nordiske systemoperatørene (TSO) har ansvar for at kraftsystemet til enhver tid er i balanse innenfor frekvensbåndet 49,9-50,1 Hz. Dette gjøres ved å aktivere automatiske og manuelle reserver i henhold til følgende spesifisering [18]:

- **Primærreguleringen:** Automatisk momentan regulering hvor i hovedsak produksjonssystemets turbinregulatorer sørger for en kontinuerlig regulering ut fra innstilt "statikk" som bestemmer hvor stort bidrag i MW de enkelte enhetene bidrar med ved et frekvensavvik (over eller under 50 Hz).
- **Sekundærregulering:** Automatisk opp- eller nedregulering av produksjon (innen 5-15 min) for å utligne aktivert primærregulering.
- **Tertiærregulering:** Manuell regulering av produksjon og forbruk (innen 15 min) initiert av landssentralen for å frigjøre primær og sekundærreserver i henhold til prioritetslisten for regulering i Regulerkraftmarkedet.

Primærreservene (FCR), sekundærreservene (FRR) og tertiærreservene (FRR-M) anskaffes gjennom egne markedsløsninger [18].

3.4.1 Automatisk frekvensregulering (Primærregulering)

Automatisk forbruksrespons på frekvensavvik er anbefalt av ENTSO-E. TSO i England (National Grid) ser ut til å ha kommet lengst i å inkludere denne muligheten i frekvensregulering i det britiske synkrone systemet. National Grid utlyser f.eks. langsiktige kontrakter for levering av Frequency Controlled Demand (FCDM) [19] hvor også forbruk kan delta.

En tilbyder av FCDM må tilfredsstille følgende krav [19]:

- Respons i henhold til gitte kriterier (Δf) innen 2 sekunder
- Levere frekvensrespons i minimum 30 minutter
- Levere minimum 3 MW som kan være aggregert respons fra flere belastninger i samme område
- Tilfredsstille krav til måling/dokumentasjon med overføring til National Grids driftssentralsystem

Kontrakter fremforhandles bilateralt. National Grid tilbyr FCDM-datautstyr og gjennomfører tester så snart frekvens-relé og nødvendig kommunikasjon er montert. Når tester er gjennomført og akseptert, undertegnes en FCDM systemtjeneste- (ancillary service) avtale. Avregningsperioden er en uke.

3.4.2 Fleksibelt forbruk i Regulerkraftmarkedet

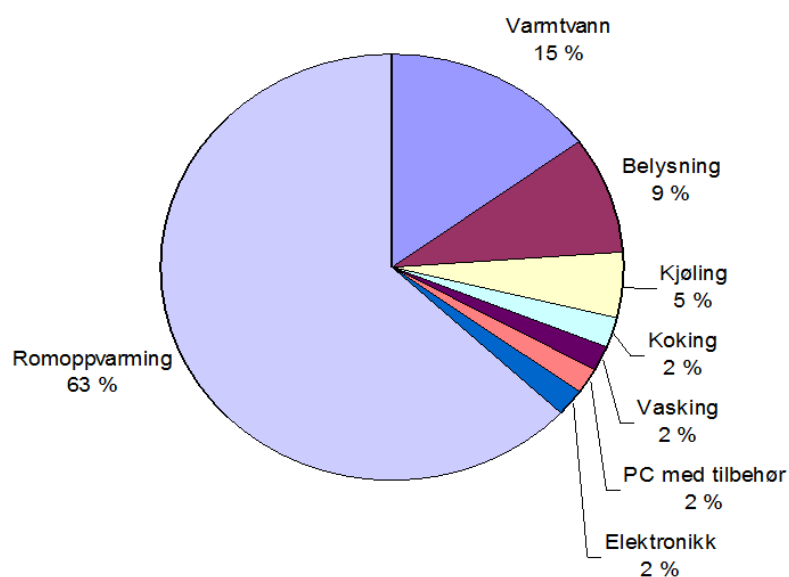
Et felles balansemarked, Regulerkraftmarkedet (RKM), er etablert i det nordiske kraftsystemet for å anskaffe tertiærreserver. *Gjennom Nordisk Systemdriftsavtale har alle nordiske land et krav til tertiærreserve som er lik dimensjonerende feil for sitt delsystem. Dimensjonerende feil i Norge er 1200 MW. Statnett har i tillegg vurdert det som nødvendig å sikre ytterligere 500 MW tertiærreserve for å kunne håndtere regionale flaskehalsar og ubalanser* [20]. Både produksjonsressurser og forbruksressurser kan tilbys i Regulerkraftmarkedet.

På forbrukssiden er det først og fremst kraftintensiv industri som har vært aktive i Regulerkraftmarkedet, oftest som følge av inngåtte opsjonsavtaler (RKOM) hvor anmelding i Regulerkraftmarkedet er en forutsetning.

Mindre forbruk har også anledning til å delta i Regulerkraftmarkedet, men begrenset av et krav til minstevolum på 10 MW. Akkumulerte porteføljer over 10 MW kan dermed delta. Begrensinger i aktiveringstid angis ved budgivning.

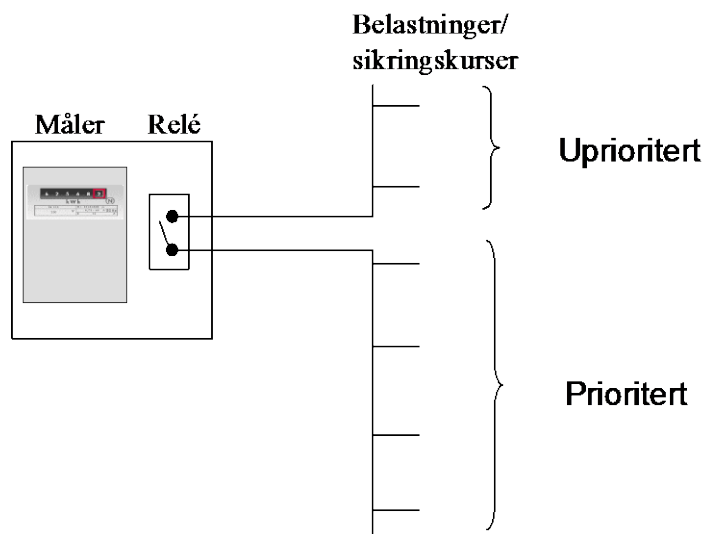
4 Kategorisering av fleksibelt forbruk

Figur 4.1 viser hvordan energiforbruket for husholdninger i Norge fordeler seg på ulike formål over året. Figuren viser at romoppvarming og oppvarming av vann utgjør ca. 78 % av det totale årlige energiforbruket, hvilket er mye i en nordisk sammenheng og svært mye i en Europeisk sammenheng. Dette er forbruk som lett kan kobles ut og inn og oppvarming av vann, gulv, fortau etc. har i tillegg en termisk lagringskapasitet som kan utnyttes for flytting av forbruk uten ulempe for kundene. Flere andre forbruksenheter har imidlertid også en fleksibilitet som kan utnyttes. F.eks. kan bruk av vaskemaskin, tørketrommel og andre effektkrevenende forbruksenheter unngås i topplasttimer.



Figur 4.1 Forbruksfordeling husholdning Norge [21]

Aktuelle alternativer for realisering av fleksibelt forbruk er (som nevnt i kapittel 3) både lokal styring ut fra lokalt tilgjengelige kriterier og fjernstyring/sentral styring av forbruk. I prosjektene "Markedsbasert forbrukstilpasning (MabFot)" [13] og "EcoGrid EU" [11] ble rene enkeltkurser (f.eks. for varmtvannsbereder eller varmepumper) benyttet, ved at et relé kobler inn og ut hele kursen fra sikringsskapet. Figur 4.2 under viser en mulig organisering av sikringskurser avhengig av om forbruket er fleksibelt og styrbart eller "prioritert" og ikke styrbart. I følge anbefalingene fra MabFot-prosjektet bør rasjonelle styringsmuligheter for fjern- eller lokalkontroll kartlegges ved installasjon av AMS.



Figur 4.2 Seleksjon av prioriterte og uprioriterte kurser i sikringskap [13]

Tabell 4.1 viser en kategorisering av ulike typer delforbruk ut fra om motivasjonen for reduksjon er effekt- og/eller energiknapphet.

Tabell 4.1 Type belastning kategorisert etter formål [22]

Formål		Effektknapphet		Energiknapphet
		Flytting av forbruk	Reduksjon uten å ta igjen energi	Reduksjon over en lengre periode
Kategori				
Oppvarming inne	Romoppvarming	+	+ (*)	+
	Oppvarming tappevann	+		
	Gulvvarme (varmekabler)	+	+ (*)	
Snøsmelteanlegg	Varmekabler ute		+ (*)	+
	Sporvekselvarmere		+ (*)	
Idrettsanlegg	Varme/Kjøleanlegg	+		
	Ventilasjon	+	+	+
Belysning	Gatelys		+	
	Belysning inne		+	+
Industriprosesser		+		+
Nødstrømsaggregat			+	
Frysere/kjøling		+		

*) uten termostat

5 Potensiale og teknologi til fleksibelt forbruk innen ulike kategorier

Dette kapitlet gir en beskrivelse av hvordan forbrukerfleksibilitet kan oppnås gjennom respons fra nye elektriske apparater og installasjoner.

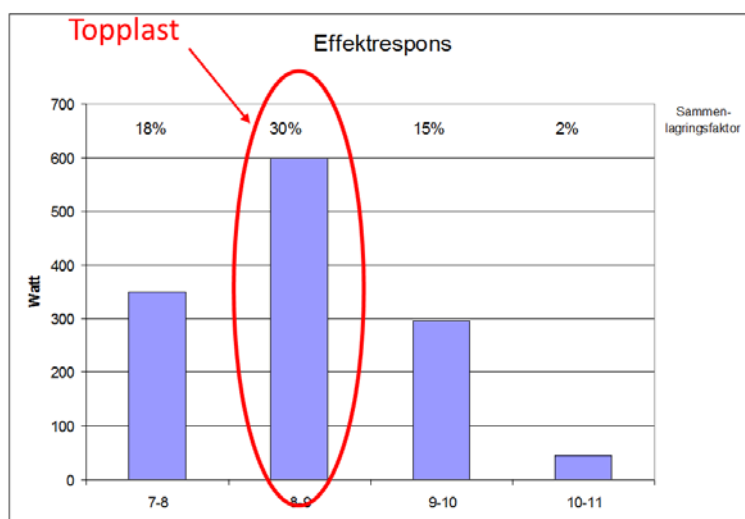
5.1 Flexibilitet fra forbruk med termisk lagringskapasitet

Termisk trege belastninger med energilagringskapasitet er spesielt egnede for flytting av forbruk (load shifting) både for en kortere eller lengre periode. Slike belastninger er velegnet til å redusere forbruket i timer med forventet høye priser. Dette gjelder forbruk for "oppvarming inne" (romoppvarming, oppvarming av tappevann), "snøsmelteanlegg" (varmekabler ute). Hvor lenge en oppvarmingsenhet kan være utkoblet vil være avhengig av bruk, tid på døgnet, omgivelsestemperaturen, husets varmeisoleringssevne (U-verdi) samt krav til komfortnivå.

5.1.1 Varmvannsberedere

Man kan bruke flere ulike teknologier for å flytte forbruket til varmvannsberedere, inkludert ut- og innkobling styrt av reléer som enten kan brukes til sentral styring i sammenheng med en smart måler eller til lokal styring hvor styringskriterier er satt lokalt.

Termostatstyrte varme- og kjølelaste egner seg godt for flytting av forbruk fra høylast til lavlast. Responsen i kWh/h vil være avhengig av forbruksmønster og samtidighetsfaktoren. En systematisk testing av ca. 1200 varmvannsberedere i prosjektet "Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT" (2001-2004) [14] viste at utkobling av VVB resulterte i gjennomsnitt pr husstand på hhv. 330 W i time 8, 600 W i time 9, 300 W i time 10 og 50 W i time 11 (inkludert tapsgevinst), se figur 5.1.



Figur 5.1 Forbruksdata for VVB time 8, 9, 10, 11 [15]

Dette innebærer at utkobling av VVB for halvparten av norske husholdninger (ca. 1 million) representerer en gjennomsnittlig effektreduksjon i time 9 på ca. 600 MW. Ved gjeninnkobling vil imidlertid enhetene kobles inn med full effekt (rebound effect). Dette er påpekt som et mulig problem i flere sammenhenger, bl.a. som et argument mot ToU-tariffer.

I et smartgridsperspektiv bør imidlertid gjeninnkoblingsproblemet kunne løses ved å benytte sekvensiell, tidsstyrt gjeninnkobling.

5.1.2 El-kjeler

Det er for tiden internasjonalt fokus på fleksibilitetspotensialet i fjernvarmesystemet som i seg selv har stor termisk lagerkapasitet [23]. Rene oljefyrte kjeler byttes ut med el-kjeler som tildels varmes opp med varmepumper. Elkjeler med brenselsfyrt reserve har en definert fleksibilitet i forhold til aktuell alternativpris (f.eks. olje). I el-drift er det et potensial for flytting av forbruk fra timer med høy pris i Elspot.

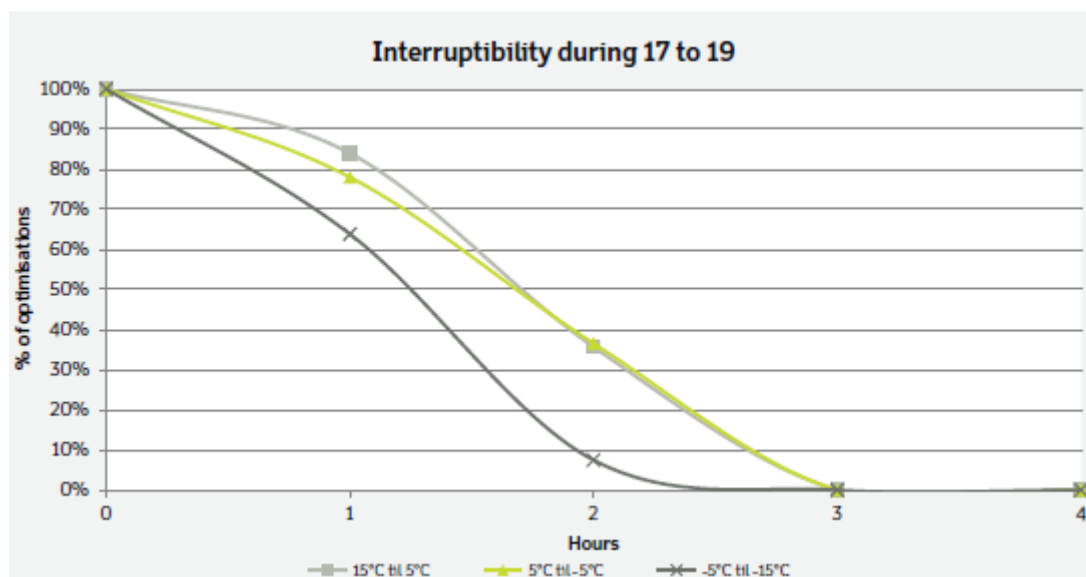
5.1.3 Kjøle- og fryse-installasjoner

Undersøkelser gjort i prosjektet Markedsbasert Forbrukstilpasning (MabFot) viser at kjølelager har betydelig termisk lagringspotensial [22] (Se kap. 6.1.4).

5.1.4 Varmepumper/aircondition

Det er mange leverandører av varmepumper, og hver varmepumpe har forskjellige driftskarakteristikker. De fleste varmepumper kan i tillegg til varmeproduksjon, også fungere som luftkjølere. Luftkjøling utgjør i mange varme land en stor belastning på dagtid og er dermed velegnede reguleringsobjekter i høylasttimer.

Mulig respons for all varmelast er temperaturavhengig, og i tillegg avhengig av kundens krav til komfort. For luftbaserte varmepumper er det i tillegg forskjeller i effektivitet avhengig av temperatur, som vist i figur 5.2.



Figur 5.2 Effektivitet av varmepumper avhengig av utetemperatur [24]

5.1.5 Panelovner

Panelovner kan også brukes til flytting av forbruk fra høylasttimer til lavlasttimer, men vil ikke nødvendigvis være like effektive som f.eks. varmvannsberedere eller varmepumper som varmer opp vann i vannbåren varme-systemer, siden vann har mye høyere varmekapasitet enn luft. Det er derfor begrenset hvor lenge en panelovn kan være avslått før det går utover komforten til kunden.

5.1.6 Snøsmelteanlegg

Snøsmelteanlegg krever mye effekt, og vil derfor være egnet til flytting av forbruk. Her må det gjøres en undersøkelse av når i løpet av døgnet det er ønsket av kunden av anlegget skal kjøres, i forhold til når høylasttimene inntreffer. Om smeltingen kan foregå utenfor høylastperiodene, kan dette styres sentralt eller lokalt, med samme type teknologier som for varmvannsberedere.

5.2 Fleksibilitet fra plusskunder

Økningen vi nå ser i distribuert produksjon i større og mindre skala innebærer at kunder med egen produksjon av elektrisk energi fra solceller og/eller småskala vindmøller i perioder kan være selvforsynt eller netto leverandør. Initiativ fra bla. EURELECTRIC (Union of the Electricity Industry) [25] indikerer at kraftmarkedet og regulatorisk regelverk i nær framtid blir tilpasset disse nye "plusskundene" (prosumers) slik at de kan veksle mellom å være kjøper og selger av elektrisitet. Samtidig vil kundene være garantert back-up fra kraftsystemet når egenproduksjonen ikke leverer av ulike årsaker.

AMS med mulighet for måling av inn- og utmating (4 kvadrant måling) med tidsoppløsning som er tilpasset kraftmarkedet (time/kvartar) er en forutsetning for en effektiv markedsintegrering. Dessuten vil AC/DC-omformere, batteriinstallasjoner som kan lagre overskuddsenergi og automatiseringssystemer som optimaliserer kjøp og salg mot markedet, øke fortjenestemulighetene.

Antallet plusskunder forventes å øke når prisen på nødvendig teknologi reduseres som følge av teknologisk forståelse og bevisstgjøring og volumøkning over tid. Effektiv integrering i marked og kraftsystem er en forutsetning for en kostnadseffektiv utnyttelse av småskala lokal produksjon. I Norge og Norden er både tilpasning til prisene i Elspot og Elbas (intraday) aktuelt. Dessuten kan lokal produksjon med batteriinstallasjon på sikt bli et konkurransedyktig alternativ for spesielle systemytelser og reservemarkeder.

5.3 Fleksibilitet fra energilager

5.3.1 Stasjonære batterier

Bruk av stasjonære batterier i kraftsystemet kan bidra til følgende nytteverdier:

- **Reduserte avbruddskostnader i kraftsystemet;** Dette representerer en betraktelig kostnad i USA, hvor systempålitelighet er lav. Plassering av batterier på svake steder i kraftsystemet, kan redusere sannsynlighet for avbrudd hos kunde.
- **Utsatte investeringer i strømmettet;** Batterier kan plasseres på steder i nettet med begrenset overføringskapasitet hvor de f.eks. kan bidra til redusert maksimallast.
- **Reduserte produksjonskostnader;** Dette er relatert til flytting av forbruk, hvor forbruk i høylast kan dekkes av strøm fra stasjonært batteri i stedet for forurensende topplastproduksjon.

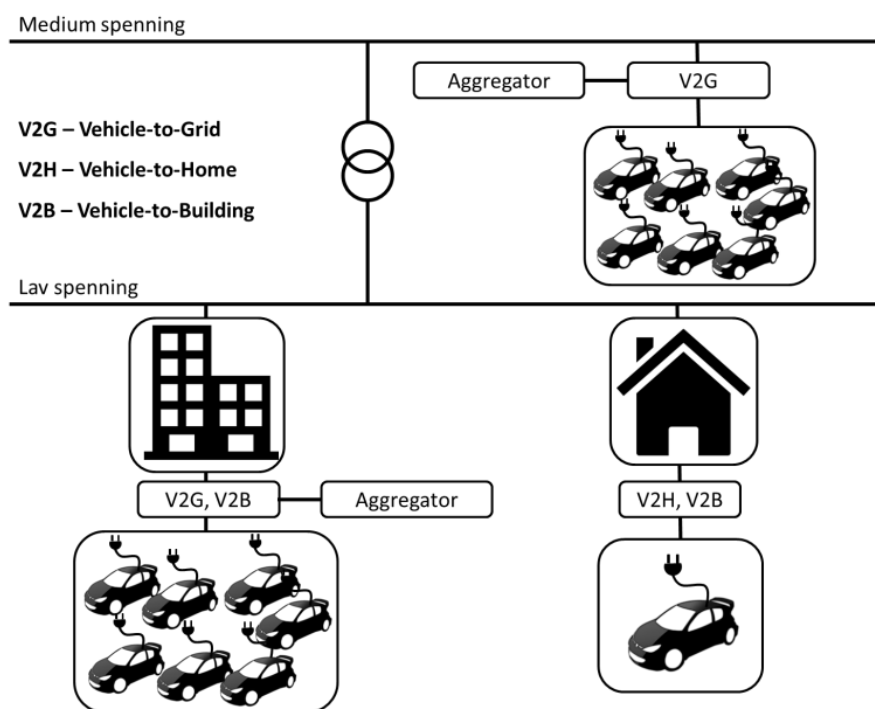
- **Unngåtte investeringer i produksjonskapasiteter og fleksible laster;** På lang sikt påvirker redusert forbruk krav for toppplastinvesteringer i produksjon og fleksible ressurser, noe som kan resultere i lavere produksjonskostnader.

5.3.2 Mobile batterier (elbil)

Batterier i elbiler har mye større kapasitet enn hjemmebatterisystemer og de representerer et stort potensiale for framtidens kraftsystem. Faktumet at disse batterier er mobile per definisjon, betyr at de ikke alltid er tilgjengelige, men det er også en fordel siden de da kan benyttes for å bidra med systemtjenester der det er behov.

Betegnelsene Vehicle-to-Grid (V2G), Vehicle-to-Building (V2B), og Vehicle-to-Home (V2H) beskriver de mest kjente konseptene som relateres til elbiler og batterier (Figur 5.3):

- **Vehicle-to-Grid;** referer til tjenester som bruker batterikapasitet i bilen for å lade eller utlade energi for å støtte nettet eller bidra som en fleksibel ressurs.
- **Vehicle-to-Building;** kan brukes for å redusere bygningens maksimallast eller også for V2G-tjenester gjennom bygningens tilknytningspunkt til strømmettet.
- **Vehicle-to-Home;** referer til bruk av batteri som back-up-forsyning i hjemmet, eller prisrespons mellom høye og lave priser eller andre forbrukerfleksibilitets-tjenester.



Figur 5.3: V2G, V2B og V2H i nettet

Det er flere utfordringer med disse konseptene, og den største er sannsynligvis batterikostnaden. Ved hver syklus av ladning og utladning degraderes batterikapasiteten. Teknisk grense for batterilevetid er 80 % av nominell kapasitet. Naturligvis kan man fortsette å bruke batterier etter at de har nådd denne grensen, og flere aktører bygger tjenester som dreier seg om bruk av brukte batterier. Etter noen år er rekkevidden av bilen og batteripålitelighet kompromittert og batterier må erstattes.

5.4 Fleksibilitet fra belysning

Å styre belysningen i en bolig vil kunne gi en viss fleksibilitet, men det er mindre potensiale enn fleksibilitet fra forbruk med termisk lagringsmulighet (Spesielt ved økende bruk av LED). Kundens krav vil her kunne ha stor påvirkning på potensialet, siden flytting av belysning vil merkes umiddelbart av kunden om belysningen i et område kunden oppholder seg i skrur av. Et alternativ vil kunne være automatisk styring av lys utendørs, der styringen avhenger av mengde dagslys.

5.5 Fleksibilitet fra næringsbygg

Næringsbygg som i utgangspunktet ofte har veldig høyt strømforbruk, vil kunne ha stor effekt av å utnytte fleksibiliteten i forbruket. Teknologiene vil i hovedsak være de samme som nevnt tidligere, men i en større skala enn for husholdninger. Gjelder det et næringsbygg med veldig høyt forbruk, vil deltakelse i Regulerkraftmarkedet være aktuelt, som nevnt i 3.4.2.

6 Eksempler på fleksibilitet fra forbruk innen ulike kategorier

I dette kapitlet beskrives flere eksempler på forbruk som kan være fleksible, dvs. forbruk som kan endres hvis kunden får et insentiv til å være fleksibel. Kategoriene av forbruk som er beskrevet, er eksempler forbruk med termisk lagringskapasitet, energilager og i mulig fleksibelt forbruk i næringsbygg (butikk/kontor).

6.1 Fleksibilitet fra forbruk med termisk lagringsmulighet

6.1.1 Varmvannsberedere

Fjernstyring av varmvannsberedere i Sveits

Den sveitsiske DSO'en BKW (operativ i delstatene Bern and Jura) kontrollerer VVB og varmepumpelast tilsvarende 400 MW ved inn-utkobling via "ripple control" til faste tidspunkt [26]. VVB er normalt koblet inn mellom midnatt og kl 4 om morgenen. Temperaturen i tanken vil da være lik øvre driftstemperatur. Dersom temperaturen i tanken synker under minimum driftstemperatur i løpet av dagen (bruksavhengig), vil en termostat koble inn. Resultatet av styringen er redusert bruk av elektrisk energi i topplasttimene.

I 2009-2012 hadde BKW et prosjekt kalt iSmart [26]. Her er tradisjonell flytting av VVB-forbruk fra høylast til lav last demonstrert som et alternativ med deltagelse i det sveitsiske tertiærmarkedet (manuelt kontrollert regulerkraft) som aktuell forretningsmodell.

I 2015 var kontrollert VVB-last oppgitt til 700 MW [27], og BKW var interessert i å utføre flytting av forbruk på en bedre måte ved å ta i bruk en ny optimeringsmetode basert blant annet på lastflytmodeller. Optimeringsalgoritmen skal finne den lastkurven som gir lavest strømutgift for kunden.

Grid-Interactive Electric Water Heating/Thermal Storage (GETS) i USA

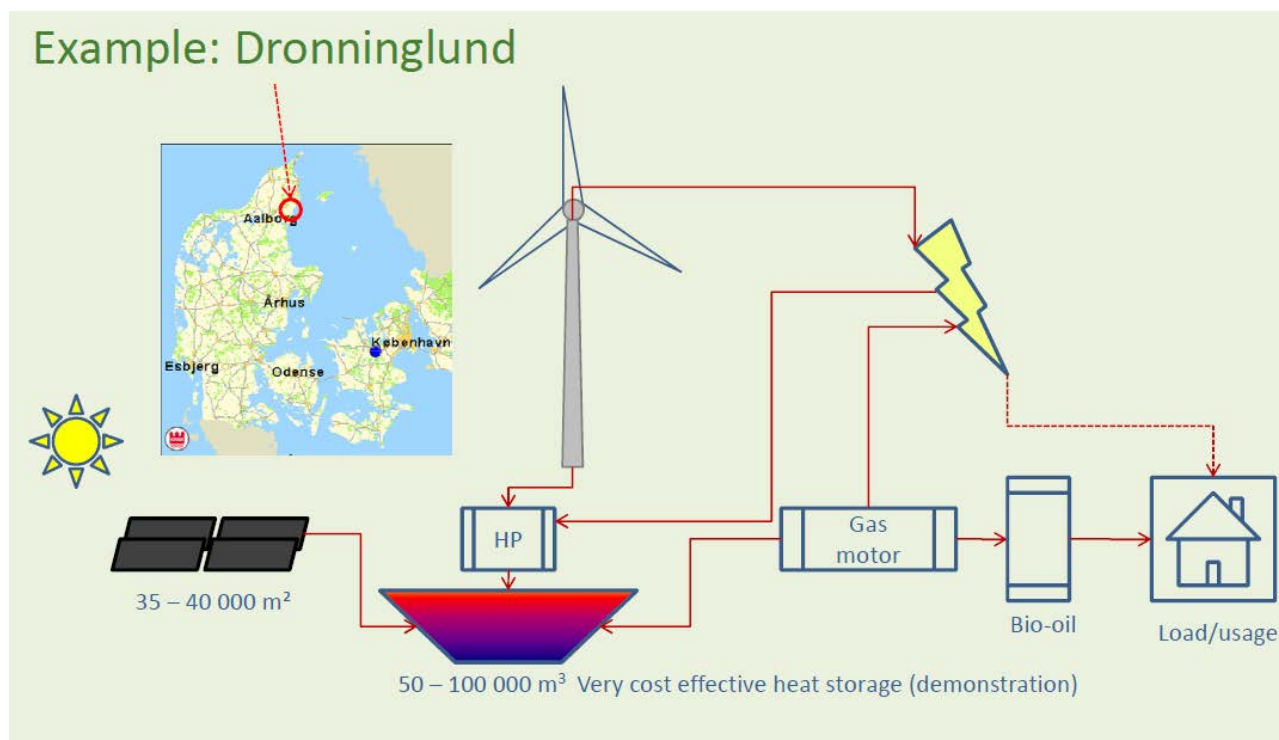
Organisasjonen Peak Load Management (PLMA) etablerte i 2013 en gruppe med formål å legge til rette for effektiv utnyttelse av det "kortsiktige" energilageret i varmtvannsberedere; Grid-Interactive Electric Water Heating (GIWH) [28]. I følge PLMA utgjør aggregerte VVB (> 200 l) et lavkostnads "batteri" som kan reguleres i forhold til "marginale" priser i kraftmarkedet og dermed bidra til lettere integrering av fornybar produksjon. PLMA peker på at det er behov for nytt fokus på denne ressursen for å frigjøre et energilagingspotensial for "smart grid optimalisering".

Initiativet er senere utvidet til å omfatte alle reguleringsobjekter med termisk lagringskapasitet under navnet Grid-Interactive Electrical Thermal Storage (GETS).

6.1.2 Elkjeler

El-ekjeler i fjernvarmesystemer i Danmark

I Danmark er det flere prosjekter som ser på totalutnyttelsen av termisk lagring av energi i vann, lagring av overskuddsproduksjon i vind- og solkraftverk og utnyttelse av fleksibilitet mot kraftmarkedet. Et eksempel på dette, hentet fra Århus, er presentert i figur 6.1.



Figur 6.1 Fjernvarmesystemet i Århus [23]

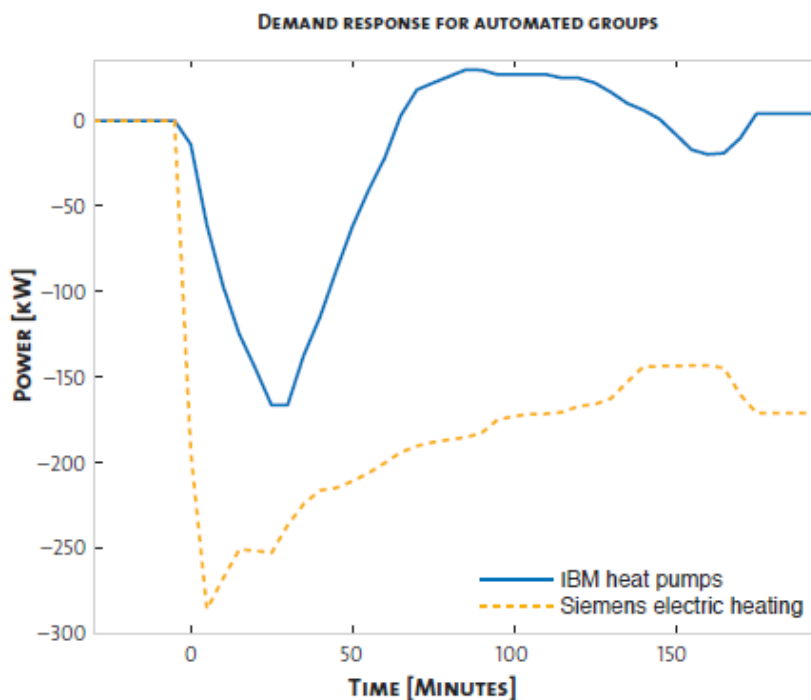
6.1.3 Varmepumper/aircondition

Aircondition som systemtjeneste i New York

I New York tilbys f.eks. air condition som systemtjeneste [29] til NYISO (systemoperatør).

Responstid for varmpumper

Flere av fabrikatene er testet i prosjekter hvor tilpasning av forbruk til prisvariasjoner har vært tema (blant annet eFlex [30] og EcoGrid EU [11]). En viktig observasjon fra testene i eFlex og EcoGrid EU er at tidskonstantene ved oppstart og utkobling av varmpumper varierer i stor grad. Figur 6.2 viser karakteristikken for IBM-kontrollerte varmpumper i EcoGrid EU-prosjektet sammenlignet med Siemens sin styring av varmelaster. Figuren viser at det tar over 30 minutter fra signal om nedregulering mottas, til full topplastrespons for IBM-kontrollerte varmpumper er oppnådd. Siemens sine varmelaster har 10 min. tidskonstant.

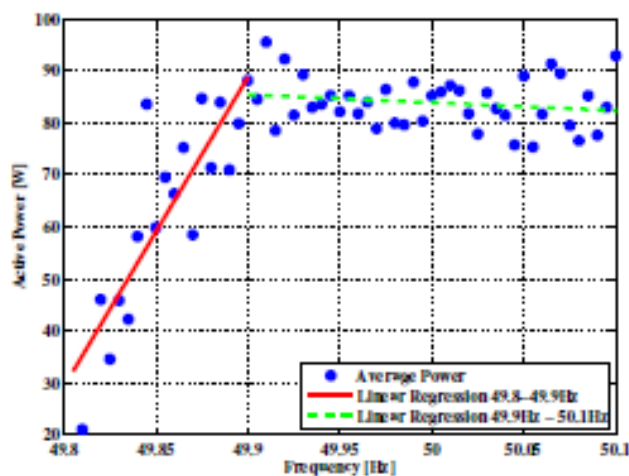


Figur 6.2 EcoGrid EU Demand response for IBM kontrollerte varmepumper og Siemens elektrisk oppvarming [31]

6.1.4 Kjøle- og fryseinstallasjoner

Kjøleskap i Danmark

I Danmark er det gjennomført et testprosjekt hvor energilagerkapasiteten i kjøleskap ble utnyttet til å demonstrere automatisk frekvensrespons [32]. Frekvensstyringen ble gjennomført ved automatisk endring av kjøleskapenes termostatinnstilling ved frekvenser under 49,9 Hz, som er utenfor kraftsystemets normale frekvensvariasjon (49,9-50,1 Hz). Forbruksendringen bidro dermed til reduksjon av frekvensvariasjonen ved driftsforstyrrelser (Se figur 6.3).



Figur 6.3 Frekvensrespons av kjøleskap som bidrar til automatisk driftsforstyrrelsesreserve. Den røde streken representerer lineær regresjon av responsen under 49,9 Hz [33]

Fiskeribedrift [13]

En fiskeribedrift hadde i 2005 totalt 5.5 GWh elforbruk fordelt på 10.000 m² nedkjølt gulvareal. Følgende to hovedaktiviteter utgjorde kjernevirksomheten: Fisken ble frosset inn etter hvert som den kom inn fra båtene, for deretter å bli overført til fryselager. Aktiviteten var størst i vinterhalvåret med den mest kritiske perioden i september og oktober. Selve innfrysingen foregikk løpende gjennom hele døgnet i flere ishaller.

Kortvarig utkobling på 1 time kunne være aktuelt for kjølekompressor, sjøvannpumper og RSW-kjøling. Det var tre sjøvannpumper, hver med en kapasitet på 70-80 kW, men en av pumpene måtte være i drift hele tiden. Ved utkobling ville viftene være i drift. Hvorvidt utkobling var aktuelt, måtte vurderes i forhold til kostnadsbesparelsene.

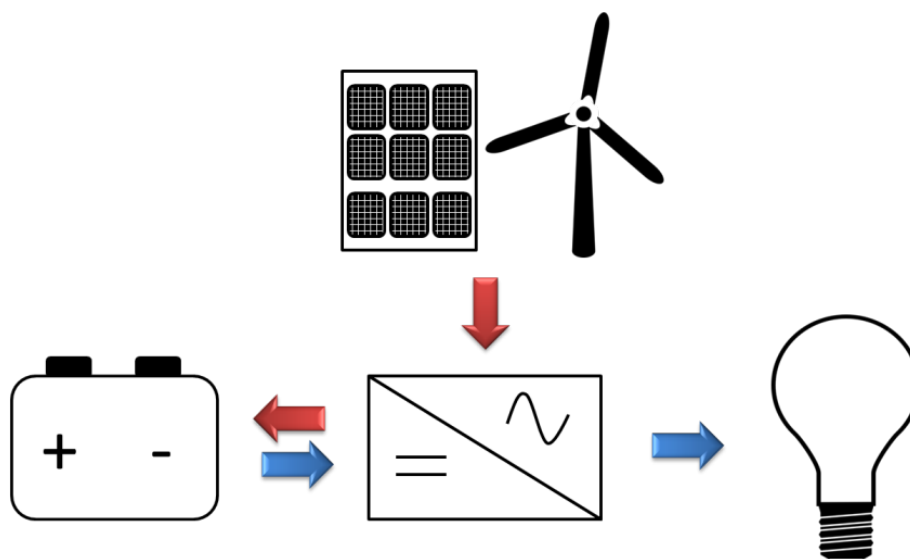
I ekstreme tilfeller var det mulig å koble ut energitilførselen til lageret i inntil 2 døgn, noe som kunne utgjøre store kostnadsbesparelser.

6.2 Fleksibilitet fra energilager

6.2.1 Stasjonære batterier

Lagring og egenforbruk av energi fra solcelle (PV) eller mikro vindkraft

Problemet ved PV eller mikrovindkraft i takinstallasjoner er at den største delen av produksjonen ikke inntreffer samtidig med forbruk, og overskuddsenergi leveres derfor til nettet. Noen land som f.eks. USA og Australia bruker nettomåling, noe som betyr at forbrukere får effektivt kompensert sin produksjon med samme pris som de betaler for forbruk og som inkluderer nettleie.

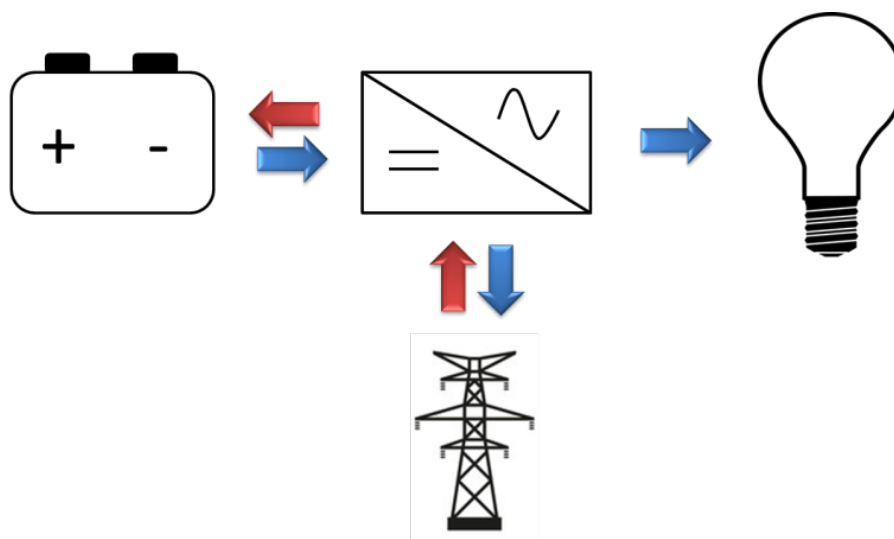


Figur 6.4: Egenproduksjon fra PV og vind blir lagret (rød) for å bli brukt senere (blå)

Fra produsentenes perspektiv gjelder det generelt at hvis prisene de kan selge deres energi for, er lavere enn prisene de betaler, så kan det være rimelig å lagre produsert energi for å bruke den senere (Figur 6.4). Slike systemer kan vise positiv økonomi på steder med veldig høye energipriser som Tyskland eller for forbrukere som ikke har nettilgang.

Lagring av energi fra nettet og levering til nettet eller eget forbruk

Et konsept som kan kombineres med lagring og forbruk av egen produksjon, er å lagre energi fra nettet for å bruke den selv eller levere den til nettet på et senere tidspunkt. Begrunnelsen for slik batteridrift er å dra fordeler fra prisendringer i markedet og lagre når prisene er lave for å kunne bruke energi eller selge når prisene er høye. Fra et økonomisk perspektiv er begge tilfeller like. Denne driften kan også føre til redusert topplast og reduserte nettkostnader.



Figur 6.5: Energi fra nettet blir lagret (rød) for å bli brukt eller levert til nettet senere (blå)

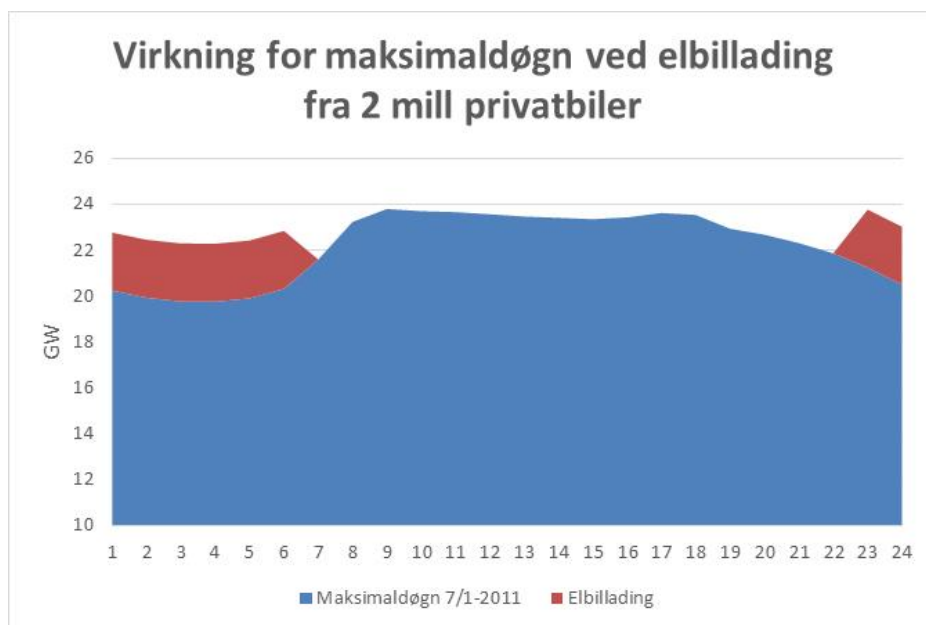
6.2.2 Mobile batterier (elbiler)

Flere elbil-produsenter har indikert at V2G og lignende konsepter er problematiske for batterigarantien, men prosjekter som M-tech Labo hvor Mitsubishi demonstrerte en reduksjon av spisslast av 50 kW ved hjelp av fem av sine elbiler, viser at elbatterier kan ha en verdi for nettstøtte sammenlignet med investeringskostnader til nettutbygging.

Det er ikke sannsynlig at det blir økonomisk lønnsomt å kjøre til et punkt i nettet for å tilby nettstøtte og få kompensasjon for dette, men elbusser og autonome elektriske biler vil i framtida kunne velge hvor de lader avhengig av prissignalene som inkluderer både energiprisene og fleksible nettariffer som reflekterer nettutnyttelse. I hvert fall kan utlading bli rimelig i Norge for å muliggjøre noe basisbruk av strøm i hytter som ikke er tilkoblet til nettet.

Mens utlading kan være problematisk fra et økonomisk perspektiv, tilbyr koordinert ladning av flere elbiler gode muligheter til å redusere kostnadene for elbileiere og alle forbrukere. Det er godt mulig at eksisterende distribusjons- og transmisjonsnett kan forsyne en stor andel av elbiler, noe som gir nettselskapene samme kostnader som i dag, men ved et større forbruk, det vil si, en bedre utnyttet infrastruktur

Flere elbiler kan i dag programmere sin ladetid på time- og ukebasis. Når alle kunder blir timemålt vil trolig en stor del av elbilladningen skje i lavpristimene i løpet av døgnet. Dette vil i så fall få stor betydning for forbrukskurven på landsbasis og lokalt. Figur 6.6 viser virkningen av at 2 millioner elbiler i hovedsak lades på natt. Forbrukskurven vil flates ut betydelig og siden elbilladning kan avbrytes momentant, vil nattladningen representere et betydelig avlastningspotensiale. Ubalanse i kraftsystemet inntreffer hele døgnet, og elbilladning på natt kan derfor, i tillegg til optimal ladning i forhold til markedspriser (elspot), representere en kostnadseffektiv regulerkraftressurs i denne perioden av døgnet.

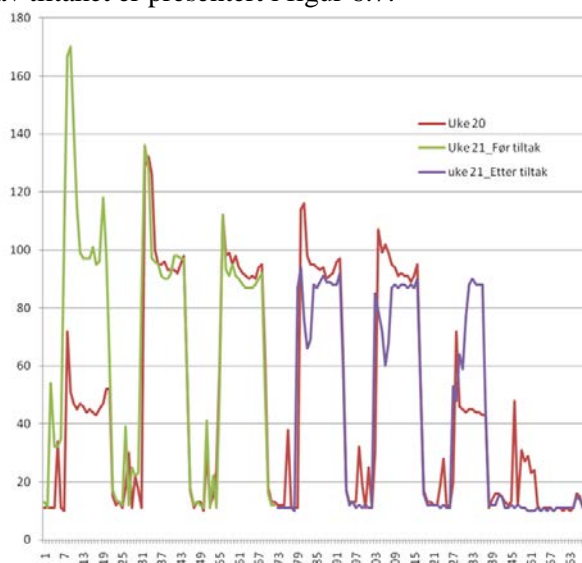


Figur 6.6: Forbruksprofil ved framtidig "optimal" elbillading

6.3 Flexibilitet fra næringsbygg

6.3.1 Butikklokale

Et eksempel er effekstyring i et butikklokale. Denne kunden hadde spotpriskontrakt på timebasis – med timeavregning. Kunden har dermed insentiv til å endre forbruket i enkelttimer – og dermed å automatisk flytte forbruk fra høypris- til lavpristimer. Med dette utgangspunktet har kunden tilpasset sitt forbruk ved hjelp av SD-anlegget. I første omgang blir oppvarming startet tidligere, for å bli stanset en kort periode når andre belastninger startes. Oppvarming er i drift kl. 0500-0730 og kl. 0945-2000. Tiltakene ble satt i verk onsdag i uke 21. Virkningen av tiltaket er presentert i figur 6.7.



Figur 6.7 Timeforbruk butikk før og etter tiltak [13]

Figuren viser at maksimalbelastningen som vanligvis inntreffer ca. kl. 8, er betydelig redusert som følge av utkobling. (Mandag uke 20 var 2. pinsedag og butikken var stengt.) Forbrukskurven er ikke temperaturkorrigert.

I tillegg til at kunden reduserer forbruket i timene med forventet høye spotpriser, sparer kunden kostnader i forbindelse med vanlig effekttariff, siden maksimalbelastningen reduseres.

6.3.2 Tambartun

Regulerbart forbruk for Tambartun, som er en institusjon med svømmehall, ble kartlagt for å etablere en optimal styring i forhold til en tidsvariabel effekttariff i MabFot-prosjektet. Resultatene er vist i tabell 6.1.

Tabell 6.1 Reduserbart forbruk Tambartun [22]

Belastning	Varighet knapphetsperiode			
	Time	Dag/natt	Hele døgn	Måned
Takvarme (16,0 kW)	X	X	X	X
Fortausvarme (14,4 kW)	X	X	X	X
Motorvarmere (20,0 kW)	X	X	X	X
Varmtvannsberedere dusj (4 x 15 kW)	X	X		
Varmtvannsbereder resten (15 kW)	X			
Kjøkken (20,0 kW)	X			
Varmekabler i gulv i dusj/garderobe	X	X	X	(X)
Ventilasjon	X			
Panelovner (18 soner)	X	(X)		
Svømmehall 60 kW bereder + 60 kW vent	X		X	X

7 Kostnadseksempler for realisering av fleksibilitet

I dette kapitlet beskrives eksempler på kostnader for ulike teknologier styringsteknologier som kan muliggjøre realisering av fleksibilitet. Kostnadseksemplene her tall gjeldende for oktober 2017.

7.1 Strømstyringsystemer i boliger

7.1.1 Philips Hue lysstyringssystem

Philips tilbyr et system det ikke trengs elektriker for å montere. Man kan kjøpe lyspærer som kan styres med en Philips dimme-bryter, eller man kan kjøpe en såkalt bro som er koblet til wi-fi ruterer i husholdningen, som gjør det mulig å styre lysene fra Philips Hue-appen [34]. Systemet inkluderer også bevegelsessensorer.

Priser for de ulike komponentene er for lyspærene mellom 174 og 539 NOK, avhengig av type [35]. En standard dimmebryter koster 199 NOK, en standard trådløs dimmebryter 299 NOK, mens en bro koster 476 NOK på Elkjøp.

7.1.2 WiDim smart universal WiFi-dimmer

Unilamp leverer smarte dimmebrytere. Installerer man slike, kan man i tillegg styre bryterne fra en app på telefonen [36]. Man kan programmere timing på lys, ulike lysprofiler og astrour (som styrer lyset etter dagslyset). Pris for en slik dimmer er hos Elektroimportøren 2.999 NOK [37].

7.1.3 Nexa/Cotech Smart Home, Telldus og Zipato

Clas Ohlson tilbyr også løsninger for smartere styring av elektriske apparater. De har flere ulike systemer, som stort sett er kompatible med hverandre. De tilbyr gatewayer, som er selve styringsenheten, og de kobles til internettrouteren i husholdningen.

Eksempler på kostnader for gatewayer er:

- Telldus: to ulike typer (998 NOK [38] og 1299 NOK [39]),
- Zipato (2798 NOK [40]), og
- Nexa (1798 NOK [41]).

Teknologi som kan tilknyttes gatewayene:

- Cotech Smart Home-systemet inkluderer blant annet
 - fjernstrømbryter som kobles i stikkontakten (uten dimming 99,90 NOK [42] og med dimming 129 NOK [43]),
 - fjernkontroller om du velger å ikke ha en gateway (79,90 NOK for en som kan styre 4 enheter [44]) og
 - bevegelsessensor (149,90 NOK [45]).
- Nexa leverer blant annet
 - fjernstrømbryter (uten dimming 179 NOK [46] og med dimming 199 NOK [47]),
 - multifjernkontroll (249 NOK [48]) og
 - bevegelsessensor (199 NOK [49]).

Gatewayene fra Teldus og Nexa har tilhørende apper man kan laste ned til mobiltelefonen for å styre enheten, mens det på Clas Ohlsons nettsider blir oppgitt at Zipatos gateway har et web-grensesnitt online til styring.

7.1.4 DEFA HyttaMi

DEFAs løsning HyttaMi kan fjernstyre strøm, varme og alarm. Styringsenheten benytter GSM-kommunikasjon, og tjenesten er derfor abonnementsbasert [50]. Det er et etableringsgebyr på 290 NOK og deretter koster det 975 NOK per år [51]. Det kan kommuniseres med styringsenheten både via internett, SMS og app. Det finnes to ulike løsninger, én man kan montere selv og én som elektriker må montere, gjerne i forbindelse med rehabilitering eller nybygg.

Kostnaden for styringsenheten i systemet man kan installere selv, er 1990 NOK, og har et backupbatteri [51]. Man kan i tillegg kjøpe utstyr som trådløse stikkontakter (549 NOK [52]), temperaturfølere (499 NOK [53]) om man vil at de trådløse kontaktene skal fungere som en termostat og ikke bare skal ha av/på-funksjon, magnetkontakt som kan monteres for å overvåke en dør (499 NOK [54]) og bevegelsessensor (499 NOK [55]).

For løsningen som må installeres av en elektriker, koster selve styringsenheten 4190 NOK, og inkluderer backupbatteri og tre temperaturfølere [56]. Den har tre reléer, og hver av de kan enten brukes med av/på-funksjon, som termostat eller regulator (slås av og på i tidsbestemte intervaller). Det kan på samme måte som i den forrige løsningen kjøpes trådløse stikkontakter og sensorer. Ønskes det trådløs kommunikasjon fra produkter til styringsenheten, må det kjøpes en radiomodul (549 NOK [57]).

DEFA-systemene er også kompatible med styringsprodukter NOBØ har til sine panelovner [58].

7.1.5 xComfort

EATON leverer et styringssystem for husholdninger kalt xComfort. Systemet krever installasjon av godkjent elektriker. Produkter som tilbys er trykknapper, enkle brytere, persiennebrytere, dimmebrytere, aktuatorer, sensorer, styreenheter, rutere og kommunikasjonsløsninger [59]. Systemet kan styres via en app på telefonen. Man kan kjøpe produktpakker tilpasset leilighet, hytte eller hus [60]. Huspakken inkluderer én styringsenhet, styring av 6 varmesoner, i tillegg til en temperaturmåling ute, slik at systemet kan "lære seg" hvordan huset påvirkes av endringer i utetemperatur. Pakken inkluderer også lysstyring i tre rom, med to lysgrupper i hvert rom, en basisprogrammering av systemet. Huspakken er den dyreste av de tre alternativene, og koster 58.990 NOK inkludert mva og installasjon. Om man har xComforts styringsenhet kan man legge til flere produkter, for eksempel flere varmesoner, masterknapp ved utgangsdøren, styring av elbil-lading, vannlekkasjesensor, solavskjerming, klimaanlegg, [61] og andre sikkerhetsfunksjoner, inkludert webkamera, autorisert adgangskontroll fra app og forhåndsdefinerte sikkerhetsrutiner ved brann når det gjelder lys og utkobling av elektriske apparater [62].

7.1.6 Futurehome

Ved å bruke en online-tjeneste som heter Smarthusveilederen [63], kan man bygge sitt eget smarte styringssystem fra Futurehome ved å velge hvilken type bolig man har og dens byggeår. Futurehome tilbyr smarte styringsløsninger for lys, varme, adgangskontroll, innbruddsalarm, røykvarsler, vannlekkasjesensor, andre elektriske apparater, solskjerming og elbil-lader. Man kan videre velge hvilke rom man ønsker slike systemer i, og spesifisere mer detaljert hvilke systemer man vil ha i hvert rom. Systemet kan styres via en app på telefonen.

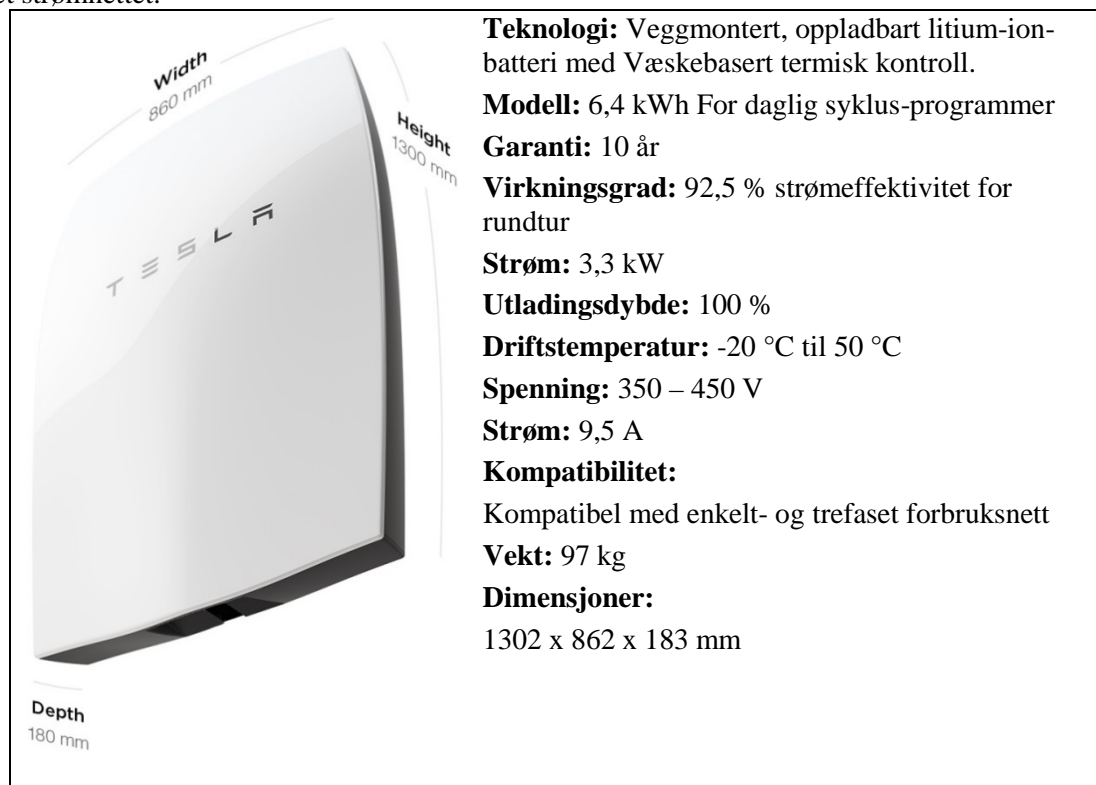
I Smarthusveilederen får man også pris på systemet man bygger, inkludert installasjon, og et utvalg av priser er beskrevet her. Styringsenheten til hele systemet heter Smarthub, og koster 2781 NOK. Uansett hvilket system man bygger, kommer det i tillegg en installasjonsoppstartkostnad på 1250 NOK. For å gjøre en lysbryter smart, koster det 944 NOK for bryterstyring og 481 for en enkel lysbryter. Ønskes det dimming på lyset, koster det 1260 NOK. En bevegelsessensor koster 681 NOK. En smartplugg for å styre et elektrisk apparat som er koblet til en stikkontakt koster 692 NOK. Varmestyring for vannbåren varme har en pris på 2090 NOK, mens styring av panelovner koster 767 NOK, med et tillegg på 692 NOK per panelovn som skal styres. En elbil-lader av typen ZapCharger Pro koster 22477 NOK å legge til i systemet.

7.2 Stasjonære batterier

Prisforskjellene det norske kraftmarkedet er periodevis for lave til at det er lønnsomt å ta i bruk batteri, siden batteridegradasjonskostnaden er i størrelsesorden 1 NOK/kWh. Batterier kan derimot være attraktive for reduksjon av topplast og nettavlastning. Installert hos kunden, er batterier fremdeles et relativt dyrt alternativ, men kostnadene er nedadgående. Nedenfor er priseksempler på to alternative hjemmebatteri vist.

Eksempel 7.1 - Tesla Powerwall [33]

I 2015 lanserte Tesla Motors to nye hjemmebatteri ved navn Powerwall. Det er presentert følgende to varianter av produktet: 6,4 kWh som egnes for daglige sykluser og 10 kWh mer egnet til ukentlige sykluser – som back-up forsyning. Økonomisk sett er Powerwall egnet for steder hvor elektrisitetsprisene er veldig høye, eller steder ved lav forsyningspålitelighet og hyppige avbrudd. I Norge kan det brukes for kunder som produserer sin egen strøm fra PV og som vil øke egenforbruket sitt. Powerwall er ikke egnet til prisrespons i Norge, men i kombinasjon ved PV som eneste strømkilde, kan den være interessant for hytter som ikke er tilkoblet strømmettet.



Figur 7.1 Tesla Powerwall, spesifikasjoner [33]

Prisen på batteriet med den minste kapasitetens er på 3000 USD, noe som tilsvarer cirka 25.500 NOK. Den største kostet 3.500 USD, tilsvarende 29.750 NOK, men Tesla har i mars 2016 sluttet å tilby dette produktet. Prisene inkluderer ikke kostnadene for omformer, installasjon og kontrollsystem. SolarCity System tilbyr hele systemet til 7140 USD eller 60.690 NOK. Systemet kan stables opptil ni ganger til 63 kWh.

Det avgjørende for den økonomiske vurderingen er antall sykluser som batterier kan gjennomføre før kapasiteten faller under 80 % av nominell kapasitet, dvs. den grensen som generelt regnes som slutten av produktlevetid for batteriet. Ifølge Tesla er det minste batteriet i stand til å levere 5000 sykluser. Ingen batteriteknologi kan utføre så mange sykluser ved en utladingsdybde på 100 %, men det synes at batteripakker inneholder mer kapasitet enn indikert.

For respons mellom lave og høye priser på Nordpool, er batterisystemet for kostbart. Antas det at batterieffektiviteten er 92 %, og omformereffektiviteten 94%, strømprisen 0,7 kr/kWh (inkl. nettleie) og at batteriet må erstattes etter 5.000 sykluser, så resulterer dette i en kostnad på 2,01 kr/kWh (Tabell 7.1). Prisdifferens mellom lave og høye priser i Norge er i størrelsesorden 0,2 kr/kWh, og en syklus resulterer derfor i et tap på nesten 2 kr/kWh. Selv for balansetjenester hvor i prinsippet man kunne få betalt både for ladning og utladning, er 2,01 kr/kWh en høy tilleggs-kostnad.

Beregningene over gjelder under antagelsen om at systemet skal selges til samme pris som tilbudt fra SolarCity i USA. Kostnadene vil bli enda høyere hvis det antas at batteriet kun er i stand til å levere 3650 sykluser, noe som tilsvarer en syklus per dag i løpet av 10 år.

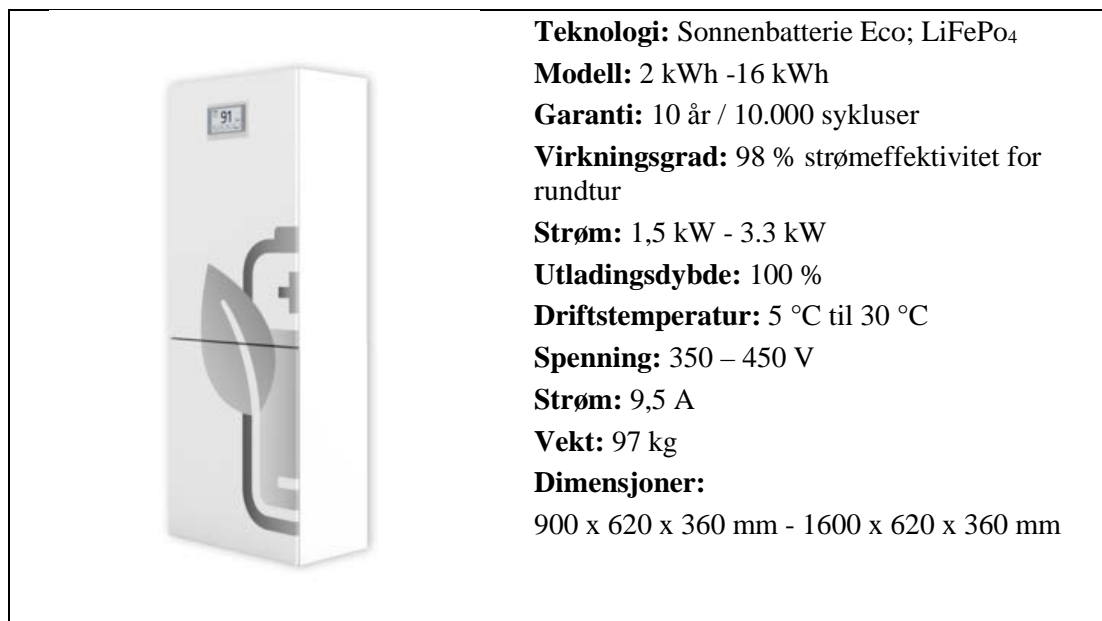
Tabell 7.1 Tesla PowerWall kostnadsberegning.

Batteripris	25.500 NOK (3000 USD)
Kapasitet	6,4 kWh
Systempris (inkl. inverter etc.)	60.690 NOK (7140 USD)
Sykluser	5000 / 3650
Batteriytelse	92 %
Omformer ytelse	94 %
Total ytelse	87 %
Energi inn per syklus	7,39 kWh
Energy tap per syklus	0,99 kWh
Strømpris	0,8 NOK/kWh
Total kostand	2,01 NOK/kWh (5000) / 2,71 NOK/kWh (3650)

Eksempel 7.2 – Sonnenbatterie

Den største konkurrent til Teslas Powerwall er Sonnenbatteries system som selges i EU for 9.999 EUR [64] (cirka 94.000 NOK) og inkluderer et 2 kWh Eco 2 Sonnenbatterie, en omformer, et PV-anlegg og et intelligent kontrollsystem. Installasjon kan i Tyskland koste fra 700 EUR. Sonnenbatterie hevder at batteriene kan levere 10.000 sykluser uten tap av ytelse [65].

Hvilke kapasiteter som er tilgjengelig for PV-anlegget er ikke helt klart, men Sonnenbatterie hevder at kunder i Tyskland som bruker 3500 kWh/år, kan få 75 % av dette fra eget anlegg [65]. Da bruker de bare 875 kWh fra nettet, og med en strømpris i Tyskland på 29 ct/kWh (ca 2,82 NOK/kWh) betaler de 254 EUR istedenfor 1015 EUR og sparer dermed 760 EUR per år.

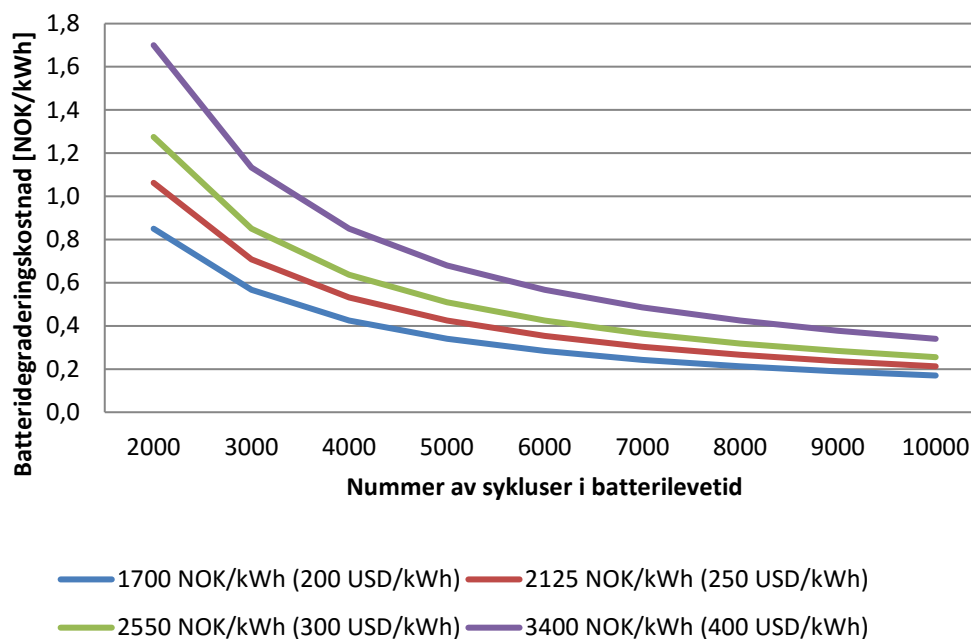


Figur 7.2 Sonnenbatterie, spesifikasjoner

Sonnebatterie tilbyr også muligheten til å delta i et naboskap og kjøpe overskuddsenergi fra andre PV-produsenter i naboskapet. Medlemmer får lavere energipris på grunn av unngått MVA for den kjøpte energien. Sonnenbatterie benytter også kundenes batterier for å delta i balansemarkedet og distribuerer en del av gevinsten fra dette mellom medlemmene [64].

7.3 Mobile batterier (elbil)

Figur 7.3 viser kostnader av batteribruk i NOK/kWh uten å ta i betraktning energitap. Skal man få nytteverdi fra en tjeneste, må verdien på gevinsten ligge over denne kostnaden. I dag står de mest utbredte batteriteknologiene på 2000-3000 sykluser og pris for et nytt batteri per kWh kapasitet er ca. 2500 – 3400 NOK. Dette gir en kostnad på 0,83-1,70 NOK/kWh. I framtiden kan man gå ut fra at prisene vil synke ned til 1700 NOK per kWh kapasitet og levere 5.000 eller flere sykluser, men selv dette resulterer i 0,34 NOK/kWh. Dette må sammenlignes med forskjellen mellom lave og høye priser (Figur 7.3).



Figur 7.3: Kostnad av batteribruk for V2G, V2B eller V2H

7.3.1 Smarte elbil-ladere

ZapCharger Pro

Et eksempel på en smart elbil-lader er ZapTec sin ZapCharger Pro. Den har innebygd last- og fasebalansering, og fungerer både på IT-nett og TN-nett [66]. Den kan brukes enkeltvis eller flere kan kobles sammen, noe som vil være hensiktsmessig i et borettslag for eksempel. Hvis flere enheter settes sammen til et system, vil alle være koblet til samme strømkurs, og de kommuniserer via internett (skyen). Dette gjør installasjonen veldig enkel. Lastbalanseringen fordeler strømmen mellom bilene uten å overbelaste kursen og fasebalanseringen gjør at mer av den tilgjengelige effekten utnyttes. Man kan lade 100 biler på en dag på én 63A strømkurs i TN-nett, Laderne har en "myk start" slik at man unngår overbelastning ved ladestart.

Laderne til Zaptec har også en funksjon som tillater tidsstyring av ladingen. Det er også en online portal og en app man kan benytte for å ha oversikt over og kontrollere ladingen. I appen kan det introduseres en betalingsløsning for lading i et system av flere ZapChargere.

Hos Elbilgrossisten koster denne laderen 16.499 NOK [66].

8 Oppsummering

I denne rapporten beskrives rollefordeling, motivasjon for utnyttelse av fleksibelt forbruk og aktuell teknologi for styring av aktuelle reguleringsobjekter.

Med innføringen av AMS og dermed timeregistrering av forbruk fra 1.1.2019, får også mindre kunder med fleksibelt forbruk anledning til å optimalisere sitt forbruksmønster og dermed sine energikostnader relatert til kraftpris og nettariff. I tillegg vil utnyttelse av tilgjengelig fleksibilitet bidra til økt samfunnsøkonomisk nytte i form av redusert CO₂-utslipp og redusert behov for nettutbygging. Norge har et spesielt godt utgangspunkt for å kunne bidra med fleksibilitet i det nordiske og sentraleuropeiske kraftmarkedet. Stor andel flyttbart elforbruk til oppvarming sammen med den lett kontrollerbare vannkraften, kan ha stor verdi som "batteri" for Europa.

Utnyttelse av prisvariasjoner over døgnet og tilpasning til foreslåtte effekttariffer, krever at fleksibelt forbruk styres på en kostnadseffektiv, og for kundene akseptabel, måte. I rapporten er alternative teknologier for ulike reguleringsformål presentert.

En del kontrollfunksjoner som f.eks. broadcast og ripple control ansees mindre realistisk i Norge de nærmeste årene på grunn av unik fleksibilitet i vannkraftsystemet. Teknologi som styrer enkeltkomponenter ut fra prisvariasjoner og direkte styring, etter avtale, i forbindelse med flaskehals i nett og/eller driftsforstyrrelser, er imidlertid svært aktuelle.

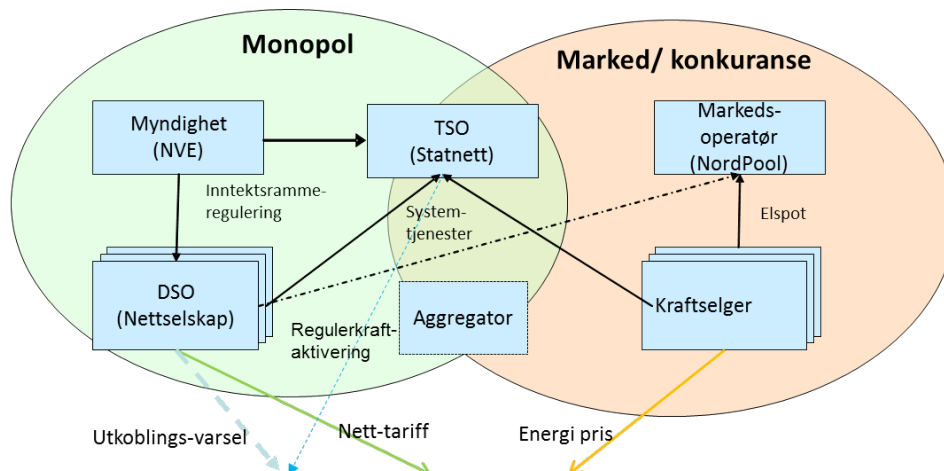
I dette kapitlet oppsummeres rammebetingelser, aktuelle regulerbart forbruk, kundepreferanser, insentiver for aktivering, aktuell styringsteknologi og FoU-utfordringer.

8.1 Rammebetingelser, insentiver og teknologi for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet

Verdien av forbrukerfleksibilitet hentes som nevnt innledningsvis (Se figur 1.1) fra et deregulert kraftsystem hvor infrastruktur og nettrelaterte kostnader er monopolregulert og kraftomsetningen foregår i fri konkurranse. Nettkostnader betales gjennom nettariffer og kjøp/salg av systemtjenester begrenset av en godkjent inntektsramme. Pris på energi derimot fastsettes forløpende i fri konkurranse avhengig av ressurstilgang, etterspørsel og overføringskapasitet.

Samme utgangspunkt er benyttet i figuren under (Figur 8.1) hvor aggregator som ny markedsrolle, er inkludert. Aggregatører ser ut til å kunne fylle rollen som link mellom fleksible kunder og markedene som etterspør fleksibilitet. I tillegg er kundeledet mer detaljert mht. mest aktuelt fleksibelt forbruk, insentiver (utkoblingssignal, pris) og aktuell teknologi.

Aggregatører er allerede godt etablert i flere land, men i Norge er slike virksomheter foreløpig i startfasen. Dette til tross for at noen aktører har vært i markedet en stund med produkter som er relatert til direkte utkobling for balanse- og nettformål. Fortjenestepotensialet som til nå tydeligvis har vært begrenset, kan økes betraktelig når AMS og Elhub er tilgjengelig. Aggregator kan også tilby styringsutstyr og eventuelt "teknisk" aggregering av fleksibelt forbruk (f.eks. bak en flaskehals) for direkte utkobling etter ordre (signal) fra driftssentral.



Reguleringsobjekter Fleksibelt utstyr	Signal/ alarm	Prissignaler		IKT
		Monopol	Markedt	
Husholdning a) Varmtvanns bereder b) Gulvvarme c) Kjøling d) Batterier (El-bil inkludert)	f.eks. "trafikklys"	"Effekt" tariff [time]	Elspot [time]	• AMS • Grensesnitt display • Tids-/ bevegelsesrele • av /på kobling • Fjernkontroll via AMS/ IP • "smarthus"-funksjoner
Næringskunder a) El- kjeler b) Kuldelager c) Fleksible prosesser d) Batterier (El-bil inkludert)	f.eks. Manuell/ automatisk effekt- regulering	"Effekt-" tariff [time]	Elspot/ Elbas [time] RK [15 min?]	• AMS • Grensesnitt display • Tids-/ bevegelsesrele • av /på kobling (automatisk) • Sentral driftskontroll (SD) • Fjernkontroll (broadcast)

Figur 8.1 Aktører i kraftsystemet og incentiver for forbrukstilpasning

8.2 Realisering av fleksibilitet - Teknologi og FoU-utfordringer

Fra de tidligere kapitlene kan noen FoU-utfordringer knyttet til videre teknologiutvikling identifiseres:

- Forbruk med termisk lagringskapasitet er termostatstyrt. I et utvalg av slike utkoblingsobjekter vil noen til enhver tid være utkoblet. Ved gjeninnkobling derimot vil alle slå inn med full effekt, noe som med mange enheter vil gi et uakseptabelt innkoblingsstøt. Denne gjeninnkoblingseffekten kan unngås ved at styringsutstyr sørger for en sekvensiell gjeninnkobling.
- Utvikling og testing av styringssystemer innbygd i elektrisk utstyr (såkalt DR-ready equipment [67]) som kan aktiveres automatisk ut fra gitte kriterier. F.eks. forventes produkter som muliggjør tidsstyring i forhold til en ToD-tariff og hurtig inn-/utkobling referert lokal frekvensmåling, å bli kommersielt tilgjengelig.
- Sortering av fleksibelt forbruk i forhold til prioritet og variabelt behov er et høyst aktuelt tema for å kunne bidra med fleksibilitet og samtidig unngå redusert kundekomfort.
- Metodikk og forutsetninger for kartlegging av aktuelle industriprosesser mht. krav til tilgjengelighet, økonomisk ansvar ved feil på koblingsutstyr etc.

I tabell 8.1 er det tatt utgangspunkt i de mest aktuelle objektene for styring utfra gitte aktiveringskriterier. Kundens preferanser/restriksjoner og aktuelle ut-/innkoblingsteknologier er tatt med. Dessuten er det antydnet noen FoU-utfordringer knyttet til videre teknologiutvikling.

Tabell 8.1 Oppsummering: Realisering av fleksibilitet

Reguleringsobjekter	Aktiveringskriterium	Kunde-preferanse/restriksjoner	Ut-/inn- koblings-teknologi	FoU-utfordringer
<p><i>Flyttbart forbruk med termisk lagringskapasitet:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Varmtvanns-bereder (VVB) • El-kjeler fjernvarme • Varmekabler • Kjøøl / frys 	<p>Pris (DA/ID/BM*). ToU/ToD-tariff. Aktiveringssignal fra driftssentral.</p>	<p>Temperatur tappevann.</p>	<p>Reléer som kobler rene kurser. Kontrollerbare komponent-kontakter.</p>	<p>Tilbakekobling mot VVB-temperatur. Gjeninnkoblings-effekt (rebound). Innbygging av styringsmekanismer i utstyr.</p>
<p><i>Romvarme:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Varmepumpe/aircondition • Panelovner 	<p>Pris (DA/ID/BM*). Effekttariff. Info om generell energiknapphet.</p>	<p>Komfort-restriksjoner: f.eks. temperaturintervall.</p>	<p>Termostatstyring (med/uten fjernstyring). Optimal oppvarming avh. av pris- og kunde-restriksjoner.</p>	<p>Innbygging av styringsmekanismer i utstyr.</p>
<p><i>Energilager:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Stasjonære batterier • Mobile batterier (elbil) 	<p><u>Lading (uttak):</u> Pris, lokalt overskudd <u>Innmating:</u> pris, signal om underskudd</p>	<p>Økonomi</p>	<p>Konverterer AC/DC</p>	<p>Kostnadseffektive omformer-løsninger.</p>
<p><i>Belysning</i></p>	<p>Info om generell energiknapphet.</p>	<p>Arbeids- og leselyskvalitet.</p>	<p>Dimming. Automatisk av/på. Kursprioritering</p>	<p>Innbygging av styringsmekanismer i utstyr</p>
<p><i>Idrettsanlegg:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Svømmehaller • Skøytebaner • Idrettshaller 	<p>Pris (DA/ID/BM*). ToU/ToD- tariff. Aktiveringssignal fra driftssentral. Info om generell energiknapphet.</p>	<p>Tilgjengelighet. Informasjon om behov og nytte.</p>	<p>Sentral driftskontroll (SD-anlegg).</p>	<p>Selektering av forbruksenheter for å redusere ulemper.</p>
<p><i>Industriprosesser</i></p>	<p>Pris (DA/ID/BM*). ToU/ToD-tariff. Aktiveringssignal fra driftssentral. Info om generell energiknapphet.</p>	<p>Varslingsrutiner. Prosessavhengig tilgjengelighet.</p>	<p>Prosesskontroll-systemer med tilbakekobling mot prosessgrense.</p>	<p>Karlegging av aktuelle prosesser.</p>

* DA/ID/BM = Day Ahead (Elspot), Intraday, Balancing marked (RKM)

9 Litteraturreferanser

- [1] T. M. Andresen og V. A. Mook, «Høring om tariffer for uttak i distribusjonsnettet,» Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Oslo, 2015.
- [2] B. Tennbakk, S. Harsem og K. Fiksen, «Teoretisk tilnærming til en markedsløsning for lokal fleksibilitet,» THEMA på oppdrag for NVE, Oslo, 2016.
- [3] «Elhub,» Elhub As c/o Statnett, [Internett]. Available: <http://elhub.no/>.
- [4] Olje- og energidepartementet, «Forskrift om måling, avregning, fakturering av netttjenester og elektrisk energi, nettselskapets nøytralitet mv.,» 2017 Mai 2017. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-301>. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [5] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Fellesfakturering og ny markedsmodell,» NVE, 25 August 2017. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/sluttbrukermarkedet/fellesfakturering-og-ny-markedsmodell/>. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [6] O. S. Grande, «smartgrids.no,» SINTEF Energy Research, 17 Oktober 2011. [Internett]. Available: <http://smartgrids.no/wp-content/uploads/sites/4/2013/01/Eco-Ove-Grande1.pdf>. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [7] M. Liikanen, *Presentasjon EU JRC seminar*, Brussel: Energimyndighetene, 2015.
- [8] European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), «Electricity Balancing,» [Internett]. Available: https://electricity.network-codes.eu/network_codes/eb/#escs. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [9] EcoGrid, «Om EcoGrid,» [Internett]. Available: <http://ecogridbornholm.dk/om-ecogrid/>. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [10] *Prosjekt ved SINTEF Teknologi og samfunn; "Improving End-user Knowledge for Managing Energy loads and Consumption", 2003-2005.*
- [11] *Prosjekt ved SINTEF Energi; "EcoGrid EU", 2011-2015.*
- [12] *Prosjekt ved SINTEF Energi; "Miljøgevinst ved velfungerende AMS i full skala", 2009-2013.*
- [13] *Prosjekt ved SINTEF Energiforskning; "Markedsbasert forbrukstilpasning (Mabfot)", 2006-2008.*
- [14] *Prosjekt ved SINTEF Energi; "Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT", 2001-2004.*
- [15] H. Sæle, O. S. Grande og Z. A. Morch, «Forbrukerfleksibilitet: Synteserapport utformet for Norges forskningsråd i RENERGI-programmet,» SINTEF Energi As, 2013.
- [16] Vector, «Hot water load management FAQ's,» [Internett]. Available: https://vectorwebstoreprd.blob.core.windows.net/blob/vector/media/vector/hot_water_and_load_management.pdf. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [17] I. S. Walker og A. K. Meier, «Residential Thermostats: Comfort Controls in California Homes,» Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 2008.
- [18] Statnett, «Reservemarkeder,» 7 April 2017. [Internett]. Available: <http://www.statnett.no/Kraftsystemet/Markedsinformasjon/>. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [19] National Grid, «Frequency Control by Demand Management,» [Internett]. Available: <http://www2.nationalgrid.com/uk/services/balancing-services/frequency-response/frequency-control-by-demand-management/>. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [20] Statnett, «Om regulerkraftmarkedet (RK),» 15 Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.statnett.no/Kraftsystemet/Markedsinformasjon/RKOM1/Om-regulerkraftmarkedet-RKM/>. [Funnet 13 Oktober 2017].

- [21] *Prosjekt ved SINTEF Energi; "Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe (REMODECE)", 2006-2008.*
- [22] O. S. Grande, G. Solem og H. Sæle, «TR A6425 Lavprioritert forbruk som ressurs for netteier og kraftmarkedet,» SINTEF Energiforskning, 2007.
- [23] J. E. Nielsen, «Smart District Heating,» The Contribution of Renewable Heating and Cooling technologies to the "Smart Cities initiatives" Workshop, 9 February 2011. [Internett]. Available: http://www.rhc-platform.org/fileadmin/user_upload/Structure/Solar_Thermal/Download/6-Nielsen-Dronninglund-SmartDistrictHeating.pdf. [Funnet 18 October 2017].
- [24] DongEnergy, «Demand Response - The eFlex Project,» November 2012. [Internett]. Available: <http://www.antropologerne.com/assets/The-eFlex-Project-Main-Report-DONG-Energy.pdf>. [Funnet 18 October 2017].
- [25] EURELECTRIC, «Prosumers - an integral part of the power system and the market,» 2015.
- [26] E. Kaegi, D. Berner og A. Peter, «Flexible Thermal Load Management for Ancillary Services Market: Experience of Swiss Smart Grid Pilot Project,» i *CIREN 21st International Conference on Electricity Distribution*, Frankfurt, 2011.
- [27] BKW, «BKW's Experience with Demand Side Integration,» 10 September 2015. [Internett]. Available: <https://www.irgc.org/wp-content/uploads/2015/09/Bossel-Demand-Response-2015.pdf>. [Funnet 18 October 2017].
- [28] Marketwired, «Grid-Interactive Electric Water Heaters Become Focus for Peak Load Management Alliance,» 12 August 2013. [Internett]. Available: <http://www.marketwired.com/press-release/grid-interactive-electric-water-heaters-become-focus-peak-load-management-alliance-1819971.htm>. [Funnet 18 October 2017].
- [29] J. Torriti, *Peak Energy Demand and Demand Side Response*, Earthscan from Routledge, 2015.
- [30] *Prosjekt ved Dong Energy; "eFlex", 2011-2012.*
- [31] EcoGrid EU, «EcoGrid EU: From Implementation to Demonstration,» 2015. [Internett]. Available: https://www.ait.ac.at/fileadmin/cmc/downloads/New_Themen/Energy/EcoGrid_EU.pdf. [Funnet 18 October 2017].
- [32] P. J. Douglass, R. Garcia-Valle, P. Nyeng, J. Østergaard og M. Togeby, «Smart Demand for Frequency Regulation: Experimental Results,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, nr. 3, pp. 1713-1720, September 2013.
- [33] Z. Shahan, «Tesla Powerwall & Powerpacks Per-kWh Lifetime Prices vs Aquion Energy, Eos Energy, & Imergy,» 9 Mars 2015. [Internett]. Available: <https://cleantechnica.com/2015/05/09/tesla-powerwall-powerblocks-per-kwh-lifetime-prices-vs-aquion-energy-eos-energy-imergy/>. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [34] Philips, «Om Hue,» [Internett]. Available: <http://www2.meethue.com/no-no/om-hue>. [Funnet 24 Oktober 2017].
- [35] Elkjøp, «Søkeresultat etter søkeord: Philips Hue - Elkjøp,» [Internett]. Available: <https://www.elkjop.no/search?searchResultTab=&ProductElementCount=54&ContentElementCount=3&NumberRanges=&SearchTerm=Philips+Hue&SearchParameter=%26%40QueryTerm%3DPhilips%2BHue%26online%3D1&SortingAttribute=ProductListPrice-asc&select-sort-refine=ProductLi>. [Funnet 24 Oktober 2017].
- [36] Unilamp, «WiDim Smart Universal WiFi-Dimmer,» [Internett]. Available: <https://www.unilamp.no/widim-universal-wifi-dimmer.html>. [Funnet 24 Oktober 2017].
- [37] Elektroimportøren, «WiDim 250 Dimmer 2,» [Internett]. Available: <https://www.elektroimportoren.no/widim-250-dimmer-2-250w/1405970/Product.html?Event=livesearch>. [Funnet 24 Oktober 2017].

- [38] Clas Ohlson, «TellStickNet,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/TellStick-Net,-gateway-for-smarthus/36-4860>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [39] Clas Ohlson, «Telldus TellStick ZNet Lite v2Z-Wave gateway,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Telldus-TellStick-ZNet-Lite-v2-Z-Wave-gateway/36-6986>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [40] Clas Ohlson, «Zipato Zipabox Duo Z-Wave gateway,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Zipato-Zipabox-Duo-Z-Wave-gateway/36-5595>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [41] Clas Ohlson, «Nexa Bridge Z-Wave gateway,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Nexa-Bridge-Z-Wave-gateway/36-6390>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [42] Clas Ohlson, «Cotech Smart Home fjernstrømbryter på/av,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Cotech-Smart-Home-fjernstrømbryter-på-av-/36-3624>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [43] Clas Ohlson, «Cotech Smart Home fjernstrømbryter med dimmefunksjon,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Cotech-Smart-Home-fjernstrømbryter-med-dimmefunksjon-/36-6009>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [44] Clas Ohlson, «Cotech Smart Home fjernkontroll 4 kanaler,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Cotech-Smart-Home-fjernkontroll-4-kanaler/36-6361>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [45] Clas Ohlson, «Cotech bevegelsessensor, Smart Home,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Cotech-bevegelsessensor,-Smart-Home/36-6362>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [46] Clas Ohlson, «Nexa EYCR-2300 fjernstrømbryter på/av,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Nexa-EYCR-2300-fjernstrømbryter-på-av-/36-4604>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [47] Clas Ohlson, «Nexa EYCR-201 fjernstrømbryter med dimmer,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Nexa-EYCR-201-fjernstrømbryter-med-dimmer/36-5231>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [48] Clas Ohlson, «Nexa TMT-918 multifjernkontroll,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Nexa-TMT-918-multifjernkontroll/36-4615>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [49] Clas Ohlson, «Nexa LMDT-609 innendørs bevegelsessensor,» [Internett]. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Nexa-LMDT-609-innendørs-bevegelsesdetektor/36-4909>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [50] DEFA, «Om HyttaMi,» [Internett]. Available: http://www.hyttami.no/om_hyttami. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [51] DEFA, «DEFA Base Unit DIY,» [Internett]. Available: http://www.hyttami.no/nettbutikk/baseunit_kit. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [52] DEFA, «Socket,» [Internett]. Available: <http://www.hyttami.no/nb/node/96>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [53] DEFA, «Temperature Sensor,» [Internett]. Available: <http://www.hyttami.no/nb/node/138>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [54] DEFA, «Magnet Contact,» [Internett]. Available: <http://www.hyttami.no/nb/node/137>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [55] DEFA, «Motion Detector,» [Internett]. Available: <http://www.hyttami.no/nb/node/136>. [Funnet 26 Oktober 2017].

- [56] DEFA, «Base Unit PRO,» [Internett]. Available: <http://www.hyttami.no/nettbutikk/baseunitpro>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [57] DEFA, «Radio Module PRO,» [Internett]. Available: <http://www.hyttami.no/nettbutikk/baseunitpro/radiomodule>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [58] DEFA, «DEFA med støtte for NOBØ,» [Internett]. Available: <http://www.hyttami.no/nettbutikk/nobostotte>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [59] EATON, «Våre produkter,» [Internett]. Available: <http://www.xcomfort.no/installator/vare-produkter/>. [Funnet 24 Oktober 2017].
- [60] EATON, «xComfort produktpakker,» [Internett]. Available: <http://www.xcomfort.no/teknologi/>. [Funnet 24 Oktober 2017].
- [61] EATON, «Om xComfort,» [Internett]. Available: <http://www.xcomfort.no/om-xcomfort-by-eaton/>. [Funnet 24 Oktober 2017].
- [62] EATON, «Sikkerhet og trygghet,» [Internett]. Available: <http://www.xcomfort.no/sikkerhet-og-trygghet/>. [Funnet 24 Oktober 2017].
- [63] Futurehome, «Build Smart Home,» [Internett]. Available: <https://smarhusveilederen.no/services>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [64] J. Deign, «Sonnenbatterie Launches Solar-Plus-Storage Storage System for \$10,645,» Greentech Media, 25 November 2015. [Internett]. Available: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/sonnenbatterie-launches-solar-plus-storage-storage-system-for-10645#gs.bL0dWog>. [Funnet 19 Oktober 2017].
- [65] Sonnenbatterie, «Sonnenbatterie Eco - Weil eigener Strom günstiger ist!,» 2015. [Internett]. Available: <http://www.oekohaus.net/images/2015/Broschuere-Sonnenbatterie-eco2.pdf>. [Funnet 18 Oktober 2017].
- [66] Elbilgrossisten, «ZapCharger Pro,» [Internett]. Available: <https://www.elbilgrossisten.no/products/zapcharger-pro-22kw-32a-type-2-kontakt>. [Funnet 26 Oktober 2017].
- [67] A. Chuang, «Roadmap to Advancing Stages of Demand Response Leveraging Connected Devices,» 5 November 2014. [Internett]. Available: <http://c.ycdn.com/sites/www.peakload.org/resource/resmgr/2014FallArchive/Chuang.pdf>. [Funnet 20 Oktober 2017].
- [68] Wikipedia, «Load management,» [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Load_management. [Funnet 13 Oktober 2017].
- [69] European Commission, «2020 climate & energy package,» [Internett]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en. [Funnet 13 Oktober 2017].



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no