

Rapport

Forbrukerfleksibilitet

Synteserapport utformet for Norges forskningsråd i RENERGI-programmet

Forfatter(e)

Hanne Sæle
Ove S. Grande
Andrei Z. Morch



SINTEF Energi AS

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

Rapport

Forbrukerfleksibilitet

Synteserapport utformet for Norges forskningsråd i RENERGI-programmet

EMNEORD:
Forbrukerfleksibilitet
Kraftprodukt
Nettariff
Kraftmarked
Elektrisk forbruk
Kunde
AMS
Teknologi

VERSJON
2.0

DATO
2013-04-09

FORFATTER(E)
Hanne Sæle
Ove S. Grande
Andrei Z. Morch

OPPDRAGSGIVER(E)
Norges forskningsråd

OPPDRAGSGIVERS REF.
Birgit Hernes

PROSJEKTNR
12x797

ANTALL SIDER
30

SAMMENDRAG

Forbrukerfleksibilitet - oppsummering av erfaringer fra RENERGI

Gjennom RENERGI-programmet har det blitt gjennomført flere forskningsprosjekter med fokus på hvordan forbrukerfleksibilitet kan utnyttes i knapphetsperioder og til å effektivisere kraftmarkedet. Ved prisleksibel anmelding til kraftmarkedet, kan bl.a. en liten forbruksreduksjon resultere i en stor reduksjon i pris.

Strømkunden har gått fra å kun være et punkt i nettet der det ble tatt ut strøm, til å bli en framtidig ressurs for kraftsystemet. Det har blitt testet ut ulike prissignaler (nettariff og kraftprodukt) som stimulerer til forbruksendring og teknologi for fjernutkobling av lavprioritert forbruk. Testprosjektene har vist at motivasjon og insentiver er viktig for å oppnå en forbruksendring hos nærings- og husholdningskunder.

Gjennomførte testprosjekter viser at forbrukerfleksibilitet kan realiseres med dagens teknologi. Det gjenstår derimot utfordringer med plassering av ansvar for daglig drift og oppfølging av forbrukerfleksibilitet for å sikre riktige insentiver hos ulike markedsaktører til kostnadseffektiv utnyttelse av denne ressursen.

UTARBEIDET AV
Hanne Sæle

SIGNATUR



KONTROLLERT AV
Ove S. Grande

SIGNATUR



GODKJENT AV
Knut Samdal

SIGNATUR



RAPPORTNR
TR A7233

ISBN
978-82-594-3606-1

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2012-08-31	Endelig versjon
2.0	2013-04-09	Rapportens gradering er endret til "Åpen"

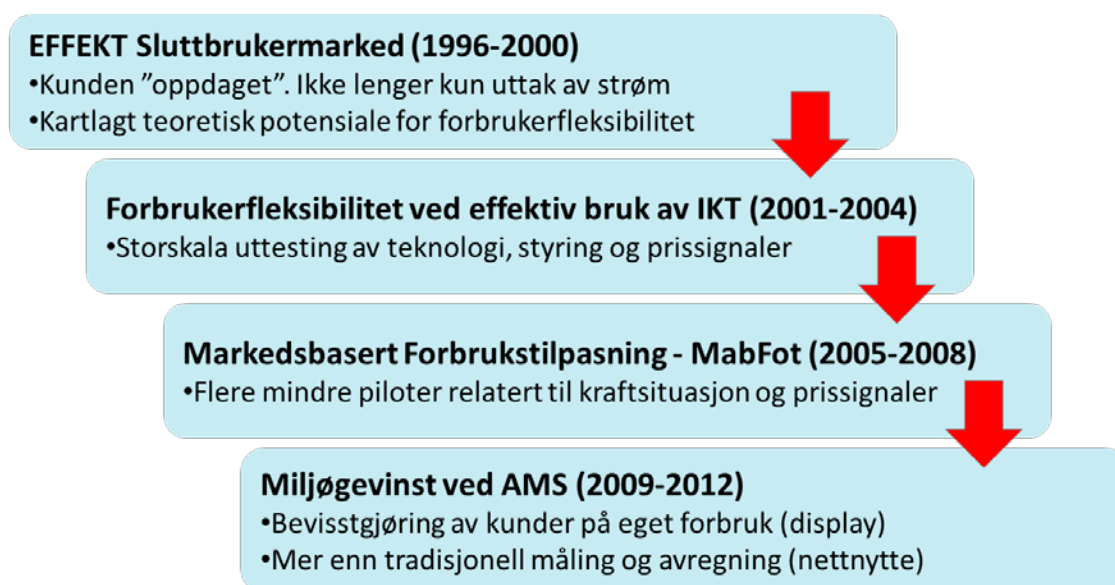
Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	5
2	Hvorfor; Bakgrunn og motivasjon	7
2.1	Hva er forbrukerfleksibilitet?	7
2.2	Forskningsprosjekt med fokus på forbrukerfleksibilitet	7
3	Hvem; Aktører og prissetting i kraftmarkedet	9
3.1	Aktører involvert i forbrukerfleksibilitet	9
4	Hva; Potensiale for forbrukerfleksibilitet	11
4.1	Teoretisk potensiale for tidsbegrenset forbruksreduksjon	11
4.2	Forbruk og forbrukerfleksibilitet for ulike kundetyper	12
4.2.1	Husholdning	12
4.2.2	Næringskunder	14
4.3	Teknologi.....	15
4.3.1	Måler teknologi (TVK/AMS).....	15
4.3.2	Styring av forbruk	16
5	Hvordan; Incentiver til forbrukerfleksibilitet og erfaringer fra testprosjekter	18
5.1	Kraftprodukter	19
5.1.1	Fastpris med returrett (FMR).....	19
5.1.2	Spotpris på timebasis.....	21
5.2	Nettariffer	22
5.2.1	Tidsvariabel energitariff kombinert med sentral styring av lavprioritert forbruk.....	22
5.2.2	Tidsvariabel effektariff kombinert med lokal styring av lavprioritert forbruk.....	24
6	Derfor; Oppsummering	26
6.1	Nytteverdier for involverte aktører	26
6.2	Veien videre i den nye hverdagen – Forskningsutfordringer	27
7	Litteraturreferanser	28
	Vedlegg 1 – Forkortelser	29

1 Sammendrag

Fra "Sluttbrukermarked"-prosjektet i 1996 og fram til i dag har strømkunden gått fra å kun være et punkt i nettet der det ble tatt ut strøm, til å bli en framtidig ressurs for kraftsystemet og alle involverte aktører. I løpet av denne perioden har det blitt testet ut ulike prissignaler (nettariff og kraftprodukt) som stimulerer til forbruksendring og teknologi for fjernutkobling av lavprioritert forbruk. Testprosjektene har vist at motivasjon og insentiver har stor betydning for endring av forbruk hos nærings- og husholdningskunder.

Ved SINTEF Energi har det siden 1996 og fram til i dag blitt gjennomført flere Forskningsrådsfinansierte prosjekt hvor fokus har vært på forbrukerfleksibilitet (Se figur 1.1).



Figur 1.1 Tidslinje RENERGI-prosjekter Forbrukerfleksibilitet

I prosjektene har det også vært fokusert på teknologi for sentral og lokal styring av forbruk, måling av strømforbruk på timebasis og formidling av informasjon til kundene om eget forbruk. Teknologien har blitt mer moden, rimeligere og mer tilgjengelig i løpet av prosjektene, noe som også kan medføre at momenter som har blitt testet ut i tidligere testprosjekt og som da ble oppfattet som tungvinte pga. datidens tekniske begrensninger, kan være relevante med dagens teknologi.

Det teoretiske potensialet for forbrukerfleksibilitet har blitt kartlagt til å være ~1700 MW for alminnelig forsyning og ~3000 MW for kraftkrevende industri. Gjennom ulike testprosjekter har det blitt forsøkt å realisere noe av dette potensialet hos både husholdningskunder og næringskunder.

Utviklingen har gått fra storskala testprosjekt med fokus på om teknologien fungerer, til markedsbaserte testprosjekt med fokus på hvordan fleksibiliteten i forbruket kan avhjelpe den løpende kraftsituasjonen.

Gjennom testprosjekt har forbrukerfleksibilitet blitt dokumentert og strømkundene har vist at de kan endre forbruket sitt – hvis de får tilstrekkelige insentiver til dette. Blant norske strømkunder er det et stort potensiale for forbrukerfleksibilitet, spesielt fordi Norge har en stor andel elforbruk med termisk

lagringskapasitet. Forbruk som kan kobles ut for en begrenset periode uten negativ komfort for kunden er betegnet som "lavprioritert".

Viktige resultater fra forskning på forbrukerfleksibilitet:

- Ved prisfleksibel anmelding til kraftmarkedet (Nordpool spot) i en knapphetssituasjon, kan en liten reduksjon av forbruk bidra til en stor reduksjon i pris. Forbrukerfleksibilitet kan dermed bidra til reduserte maksimalpriser og gjennomsnittspriser.
- Utkobling av varmtvannsbereder (VVB) har størst effektrespons i time 9, og representerer 600 Wh/h spart kraftproduksjon (inkl. 20% marginaltap i topplast). Maksimalbelastningen til VVB er sammenfallende med den nordiske maksimallasttiden, noe som betyr at den dyreste strømmen brukes til å varme opp vann. Hvis VVB kobles ut hos 50% av 2. mill. husholdningskunder, vil det gi en forbruksreduksjon på 600 MW i makslast (time 9).
- Husholdningskunder er en relativt homogen kundegruppe, og ett tiltak kan gjennomføres likt hos flere. Det er store individuelle forskjeller mellom næringskunder, så tiltak for forbrukerfleksibilitet må tilpasses den enkelte. En kartlegging av lavprioritert forbruk vurdert opp mot varighet for utkobling, er viktig.
- Med kraftproduktet "Fastpris med returrett", som besto av en spotprisavtale kombinert med finansiell sikring og markedsført som en alternativ fastpriskontrakt, kunne kundene "selge tilbake" strøm i timer hvor spotprisen var høyere enn deres fastpris. Dette ga kundene insentiv til redusert strømforbruk i slike høyprisperioder. I 1. kvartal 2006 reduserte kundene strømforbruket sitt med 24.5% sammenlignet med forbruket i 4. kvartal 2005. Redusert strømforbruk ble begrunnet med økt vedfyring. Denne kontrakttypen er vurdert som spesielt innovativ og framtidsrettet fordi den gir insentiv til forbruksreduksjon i knapphetsperioder samtidig som kundenes risiko ved høye spotpriser reduseres.
- Med en kraftkontrakt med spot på timebasis og med timeavregning, har kunder insentiv til forbruksendring på timebasis. Kombinert med styringsteknologi (SD-anlegg) har testprosjekt hos næringskunder vist at forbruk kan flyttes i tid uten reduksjon av komfort.
- Spotpriskontrakt gir ikke husholdningskunder tilstrekkelig insentiv til å flytte forbruk. Ved å kombinere dette med en tidsvariabel nettariff som reflekterer forventede høyprisperioder, får kundene forsterket insentiv til flytting av forbruk. I flere testprosjekt har involverte nettselskap tilbudt styringsteknologi via systemet for Toveiskommunikasjon (TVK) for å hjelpe kundene med å automatisk redusere forbruket i høyprisperiodene. I testprosjektet i Malvik ble forbruket hos en gjennomsnittlig kunde med vanlig varmtvannsbereder redusert med 1 kWh/h i time 9 som følge av slike insentiver. For en kunde med elkjele tilknyttet vannbåren varme, ble reduksjonen i denne timen på 2.5 kWh/h.
- I et testprosjekt hos Tambartun (behandlingsinstitusjon, Statsbygg) resulterte en tidsvariabel effekttariff kombinert med aktiv styring via anlegg for sentral driftskontroll (SD-anlegg), i en belastningsreduksjon på ca. 50 kWh/h. Utkoblingsforsøk viste at ulike kategorier lavprioritert forbruk kunne kobles ut i 24 timer uten nevneverdige ulemper for brukerne av bygget.

Forbrukerfleksibilitet har en klar samsfunnøkonomisk nytte, men det er utfordringer knyttet til realiseringen fordi enkelte viktige ledd i kjeden fram mot forbruker ikke ser lønnsomhet i nødvendige tiltak. En av de viktigste utfordringene, som ble observert i løpet av disse prosjektene, er plassering av forretningsmessig ansvar for realisering og oppfølging av forbrukerfleksibilitet. Det bør derfor jobbes videre med å utvikle attraktive forretningsmodeller som stimulerer til effektiv utnyttelse av forbrukerfleksibilitet.

2 Hvorfor; Bakgrunn og motivasjon

Innen RENERGI har det vært flere prosjekter med fokus på hvordan forbrukerfleksibilitet kan utnyttes i knapphetsperioder på energi og effekt og til å effektivisere kraftmarkedet. Perioder med knapphet på effekt, energi og overføringskapasitet mellom regioner de siste 10-15 årene samt teknologiutviklingen i retning av smartere måle- og styringssystemer har gjort at utnyttelse av fleksibelt forbruk er blitt stadig mer aktuelt.

Strøm kan ikke lagres, og det må alltid være balanse mellom produksjon og forbruk. Tradisjonelt har balansen blitt opprettholdt ved å tilpasse produksjonen etter forbruket, men forbrukerfleksibilitet kan introduseres som et alternativ til dette.

Når etterspørselen overstiger summen av produksjons- og overføringskapasitet, oppstår flaskehals og kraftprisen øker. Slike situasjoner kan oppstå for hele det nordiske systemet og for delområder i tørrår eller i perioder med ekstraordinær reduksjon i produksjons- og/eller utvekslingskapasitet. De markedsmessige forutsetningene er da at etterspørselen skal reduseres slik at priskryss oppnås. Hvis ikke må forbruk tvangs-utkobles ved rasjonering. En rasjonerings situasjon vil påføre den enkelte og samfunnet store ulemper og kostnader. Det ligger derfor store samfunnsøkonomiske interesser i å øke priselastisiteten i forbruket (Grande, Sæle et al. 2007). Norge har i så måte et stort potensiale pga. en stor andel forbruk med termisk lagringskapasitet (f.eks. varmtvannsberedere, varmekabler).

Sommeren 2011 vedtok NVE at alle strømkunder skal få installert Avanserte Måle- og Styringssystemer (AMS) innen 1. januar 2017 (NVE 2011). Resultatene fra forskningsprosjektene som er beskrevet i denne rapporten er med i beslutningsgrunnlaget for dette vedtaket og for de detaljerte funksjonskravene. Norge er blant de første landene som krever at alt forbruk skal måles med samme tidsoppløsning som kraftmarkedet.

AMS er teknologi som muliggjør riktig avregning av forbruk slik at kundene kan godtgjøres for sin fleksibilitet, og teknologien legger til rette for effektiv styring av forbruket. Det er imidlertid viktig at det utvikles økonomiske insentiver og nye tjenester som motiverer til aktiv forbrukstilpasning. Dette har vært hovedfokus i testprosjektene som er gjengitt i denne rapporten.

2.1 Hva er forbrukerfleksibilitet?

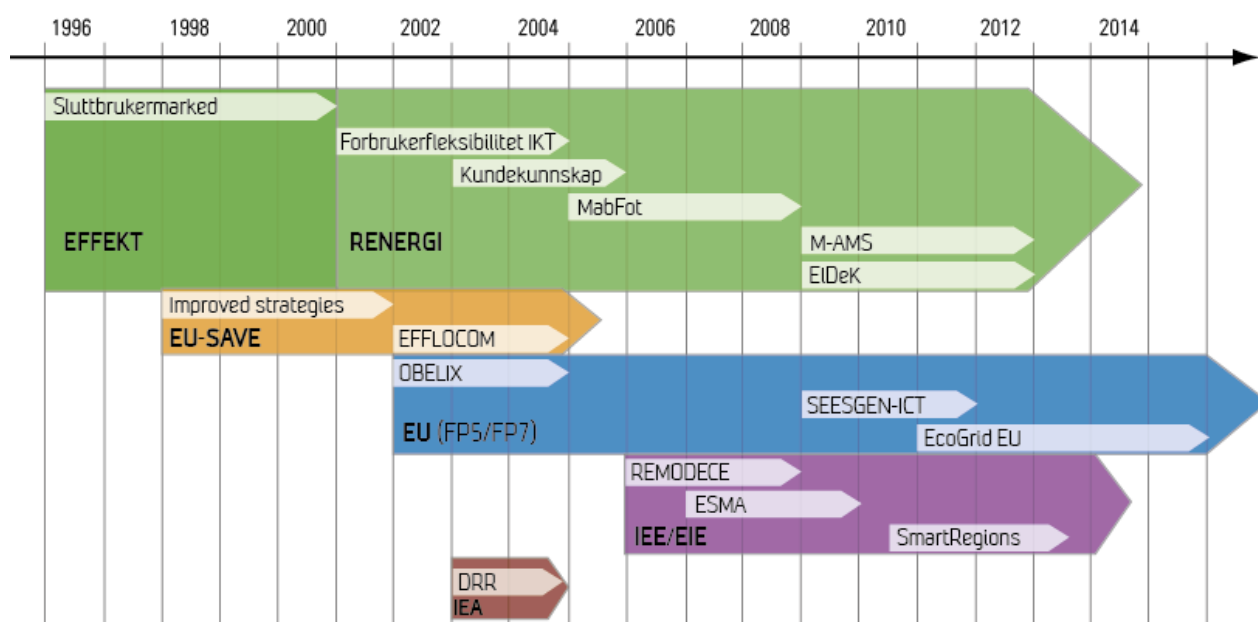
I prosjektene er følgende definisjon på forbrukerfleksibilitet benyttet:

Kundens evne til å endre forbruket sitt eller bytte energibærer i tidsbegrensede perioder, som respons på endringer i priser på elektrisitet (både nettariff og markedspriser på kraft).

Denne definisjonen innbefatter altså ikke tradisjonelle tiltak for energiøkonomisering (enøk) som sikrer langvarig og permanent energireduksjon (f.eks. etterisolering av bygg, utskifting av vinduer). På engelsk betegnes forbrukerfleksibilitet som "Demand Response" (DR).

2.2 Forskningsprosjekt med fokus på forbrukerfleksibilitet

Ved SINTEF Energi AS har det siden 1996 blitt gjennomført flere store forskningsprosjekter med fokus på forbrukerfleksibilitet. I tillegg har det blitt gjennomført parallelle aktiviteter som har gitt mulighet for nasjonalt og internasjonalt samarbeid innen ulike tema relatert til forbrukerfleksibilitet. En tidslinje for relevante prosjekter er vist i figur 2.1.



Figur 2.1 Tidslinje forbrukerfleksibilitet

Forskningsrådsfinansierte prosjekter (EFFEKT/RENERGI)

- Sluttbrukermarked (1996-2000) (EFFEKT - BIP).
 - Prosjektleder: EBL/ EnergiNorge
- Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT (FF+IKT) (2001-2004) (RENERGI - BIP)
 - Prosjektleder: EBL/ EnergiNorge
- Kundekunnskap - “Improving End-user Knowledge for Managing Energy loads and Consumption” (2003-2005) (RENERGI - KMB)
 - Prosjektleder: SINTEF Teknologi og Samfunn
- MabFot - Markedsbasert Forbrukstilpasning (2005-2008) (RENERGI - BIP)
 - Prosjektleder: Statnett
- M-AMS - Miljøgevinst ved velfungerende AMS i full skala (2009-2012) (RENERGI - BIP)
 - Prosjektleder: EnergiNorge
- EIDeK - Electricity Demand Knowledge (2009-2012) (RENERGI - KMB)
 - Prosjektleder: SINTEF Energi AS

Relaterte prosjekter

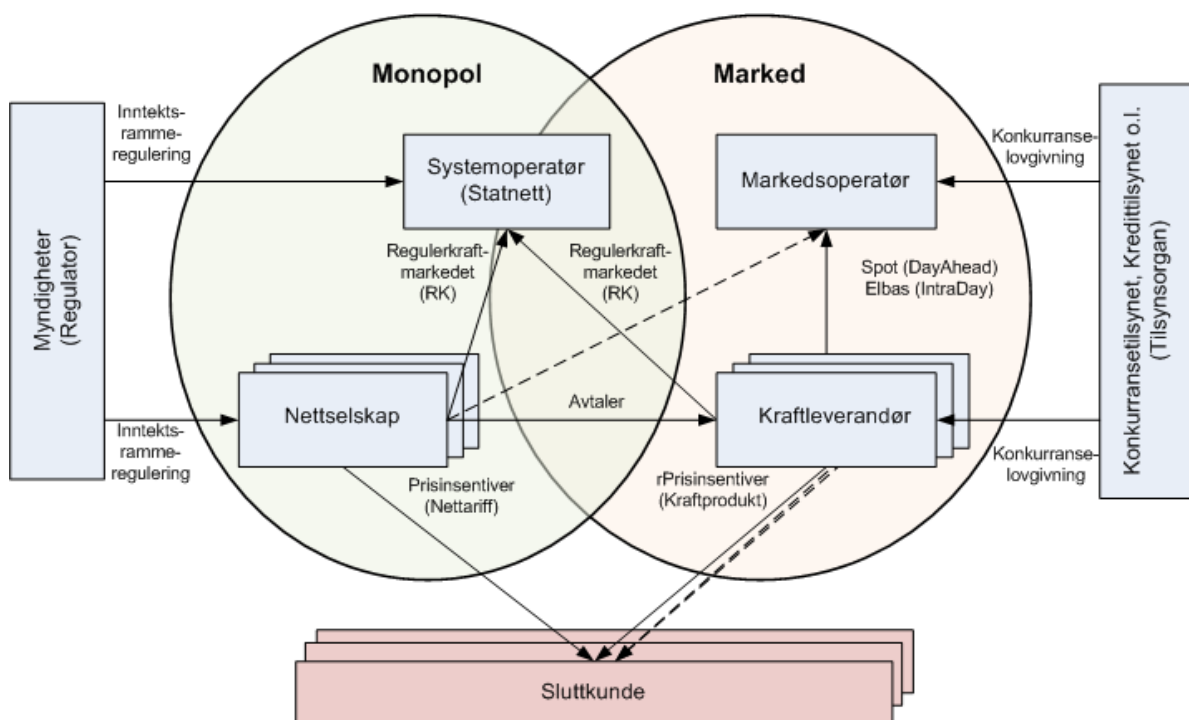
- Improved strategies – Environmental quality and energy efficiency (1998-2001) (EU-SAVE)
- EFFLOCOM - Energy EFFiciency and LOad curve impacts of COMmercial development in competitive markets (2002-2004) (EU-SAVE)
- OBELIX - Ontology-Based ELectronic Integration of compleX products and value chains (2002-2004) (IST Project IST-2001-33144 OBELIX, EU/FP5)
- DRR - Demand Response Resources (2003-2004) (IEA)
- REMODECE - Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe (2006-2008) (IEE/EIE)
- ESMA - European Smart Metering Alliance (12/2006 - 11/2009) (IEE)
- SEESGEN –ICT (2009-2011) (EU/FP7 ICT/Energy)
- SmartRegions (2010-2013) (IEE/EIE)
- EcoGrid EU (2011-2015) (EU/FP7)

3 Hvem; Aktører og prissetting i kraftmarkedet

I dette kapitlet beskrives hvilke aktører som inngår i kraftmarkedet, og hvilke insentiver de har til forbrukerfleksibilitet. I tillegg beskrives det hvordan forbrukerfleksibilitet kan inngå i prissettingen i kraftmarkedet.

3.1 Aktører involvert i forbrukerfleksibilitet

Figur 3.1 viser aktørene som er involvert i forbrukerfleksibilitet, hvilke aktører deres aktivitet grenser opp mot, nødvendige avtaler, gjeldende reguleringsbestemmelser som aktiviteten inngår i og om aktørene inngår i monopol- eller markedsdelen av kraftsystemet.



Figur 3.1 Monopol- og markedsaktører som er involvert i forbrukerfleksibilitet

I det norske kraftmarkedet er det lovpålagt at nettselskapet og kraftleverandør opererer som to forskjellige aktører. Det innebærer at alle sluttkunder har to kontrakter for sitt strømforbruk: en nettariff for transport av elektrisitet og en energikontrakt knyttet til selve bruken av elektrisitet. Nettselskapet er et naturlig monopol som reguleres av myndighetene (NVE). Kraftleverandør er en markedsaktør som opererer i kraftmarkedet, og aktiviteten overvåkes av Konkurransetilsynet, Kredittilsynet o.l. En sluttkunde har et permanent forhold til sitt nettselskap (Unntatt ved flytting utenfor konsesjonsområdet til nettselskapet), men kan skifte kraftleverandør så ofte han vil uten ekstra kostnader (forutsatt ingen bindingstid i eksisterende kraftkontrakt).

Markedsoperatøren (NordPool) organiserer bl.a. Spotmarkedet (Day Ahead) og Elbas (Intra Day). Systemoperatør (Statnett) er både lokalisert i monopol og marked. Dette er fordi Systemoperatøren er underlagt monopolregulering, men er også ansvarlig for å drifte Regulerkraftmarkedet. Samspill mellom aktørene i monopol- og markedsdelen av kraftsystemet er nødvendig for å få forbrukerfleksibilitet implementert.

Prisavhengig forbruk en viktig forutsetning for et velfungerende kraftmarked

Prisen i det Nordiske kraftmarkedet fastsettes på timebasis, noe som innebærer behov for timemåling av en stor del av forbruket (Grande og Sæle 2005). Det er viktig at sluttbrukere får økonomiske insentiver som reflekterer den faktiske situasjonen i kraftsystemet, f.eks. spotpris på timebasis.

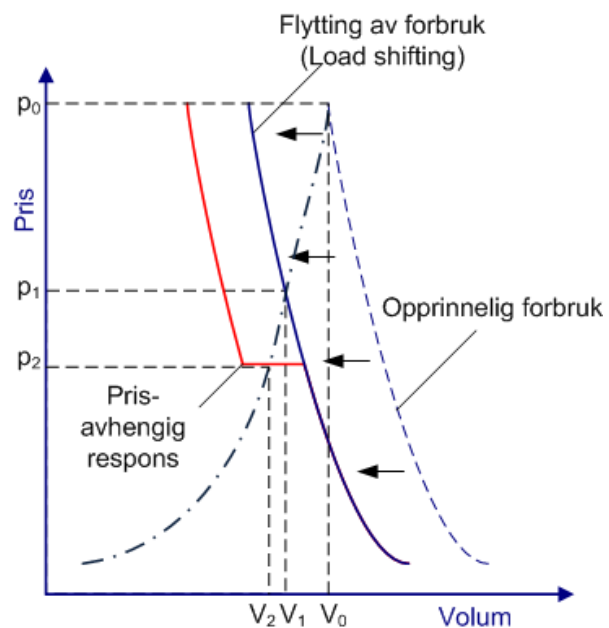
Prisen i spotmarkedet fastsettes dagen før på timebasis basert på anmeldelser (bud) fra aktørene for kjøp og salg av kraft (kraftprodusenter, forbrukere og kraftleverandører) (Bye, Bjørndal et al. 2010). Prisen fastsettes der anmeldingskurvene for tilbud og etterspørsel krysser (priskryss). I en knapphetssituasjon med stor etterspørsel og begrenset tilbud, vil det oppstå høye spotpriser, og i verste fall kan man risikere at man ikke oppnår priskryss. I en slik knapphetssituasjon kan en liten endring i forbruket bidra til en stor prisreduksjon (Hunt 2002; Vasconcelos 2008).

Det er viktig at planlagt fleksibilitet anmeldes i Elspot av følgende årsaker:

- Ikke anmeldt forbruksreduksjon medfører at Elspotprisen ikke beregnes riktig. I ekstreme tilfeller kan dette resultere i at priskryss ikke oppnås.
- Ikke anmeldt forbruksreduksjon vil medføre ubalanse i forhold til forutsetninger ved prissettingen og kan medføre uventede ubalansekostnader.

Erfaringene som er gjort i de siste testprosjektene viser at kraftselgere i hovedsak anmelder et stivt forbruk i Elspot. Figur 3.2 viser et eksempel på prissettingen i spotmarkedet med utgangspunkt i forbrukerfleksibilitet som er testet ut i MabFot-prosjektet: flytting av forbruk og utkobling av forbruk ved en forhåndsbestemt pris. Illustrasjonen gjelder for en time med knapphet, og dermed høy pris. Anmeldingskurven for opprinnelig forbruk (før forbrukerfleksibilitet) er vist med en stiplet kurve. Priskrysset inntreffer i krysningspunktet mellom anmeldt produksjon og forbruk, dvs. ved prisen p_0 og volum V_0 .

Flytting av forbruk gjør at anmeldt volum reduseres fra V_0 til V_1 , og prisen reduseres fra p_1 til p_2 . Ved prisavhengig respons reduseres volumet fra V_0 til V_2 , og prisen reduseres fra p_0 til p_2 . Figuren viser at en liten volumendring V_0 til V_2 gir en betydelig prisendring p_0 til p_2 .



Figur 3.2 Prisfleksibel anmelding

Dette kan illustreres med et eksempel fra det nordiske kraftsystemet, hvor en forbruksreduksjon på ca. 850 MWh/h for Norden utenom NO1 i time 18 tirsdag 6/2-07 ville fjernet prisdifferansen som var på ca. 1 kr/kWh (Grande, Sæle et al. 2007). Tilsvarende tall for time 9 fredag 9/2-07 var på 550 MWh/h for å fjerne en prisdifferanse på 73 øre/kWh. For forbrukere i Midt-Norge ville fjerningen av prisforskjellen for time 18 9/2-07 innebært en redusert regning på ca. $4000 \text{ MW} * 1000 \text{ kr/MWh} = 4 \text{ Mkr}$.

4 Hva; Potensiale for forbrukerfleksibilitet

I dette kapitlet beskrives det teoretiske potensiale for forbrukerfleksibilitet for ulike kundegrupper, hva elektrisitet brukes til, fleksibiliteten for ulike forbrukskategorier og teknologi for å styre forbruk.

Produksjonen av elektrisitet i Norge er hovedsakelig basert på vannkraft (99%), og varierer fra år til år avhengig av variasjoner i nedbør, temperaturer og tilsig. I gjennomsnitt blir det produsert 130 TWh pr år i Norge, men kraftproduksjonen varierer med ca. 50 TWh mellom de tørreste og våteste årene. Høyeste maksimalbelastningen registrert i Norge er på 23.994 MW, og ble registrert i time 10, den 6. januar 2010. Forrige maksimalbelastning var på 23.054 MW og ble registrert i time 10, den 5. februar 2001.

I tillegg til årlige variasjoner i forbruk og produksjon, varierer forbruket også fra time til time og fra dag til dag. 5. februar 2001 var forskjellen mellom maksimallasttiden og lavlasttiden på dagtid ca. 1000 MW. Tilsvarende forskjell den 2. mars 2001 var ca. 1500 MW.

Effektproblemer forventes kun å opptre et begrenset antall timer årlig. Eksempelvis var det kun 71 timer fordelt på 14 dager i perioden januar-mars 2001 at det norske forbruket var høyere enn forrige rekord fra 1996 (Grande, Sæle et al. 2002). Tilsvarende var det kun 45 timer fordelt på 7 dager i perioden januar-mars 2010 at forbruket var høyere enn rekorden fra 2001. Forbrukerfleksibilitet kan være et kostnadseffektivt alternativ til ny produksjonskapasitet - spesielt med tanke på at det er begrenset antall timer det er snakk om.

4.1 Teoretisk potensiale for tidsbegrenset forbruksreduksjon

I Sluttbrukermarked-prosjektet ble følgende teoretiske potensial for tidsbegrenset forbruksreduksjon kartlagt:

- Kraftkrevende industri: ~ 3000 MW (under gitte forutsetninger) (Grønli og Livik 2000)
- Husholdning og mindre næring (alminnelig forsyning): ~ 1750 MW (Grande, Sæle et al. 2002)

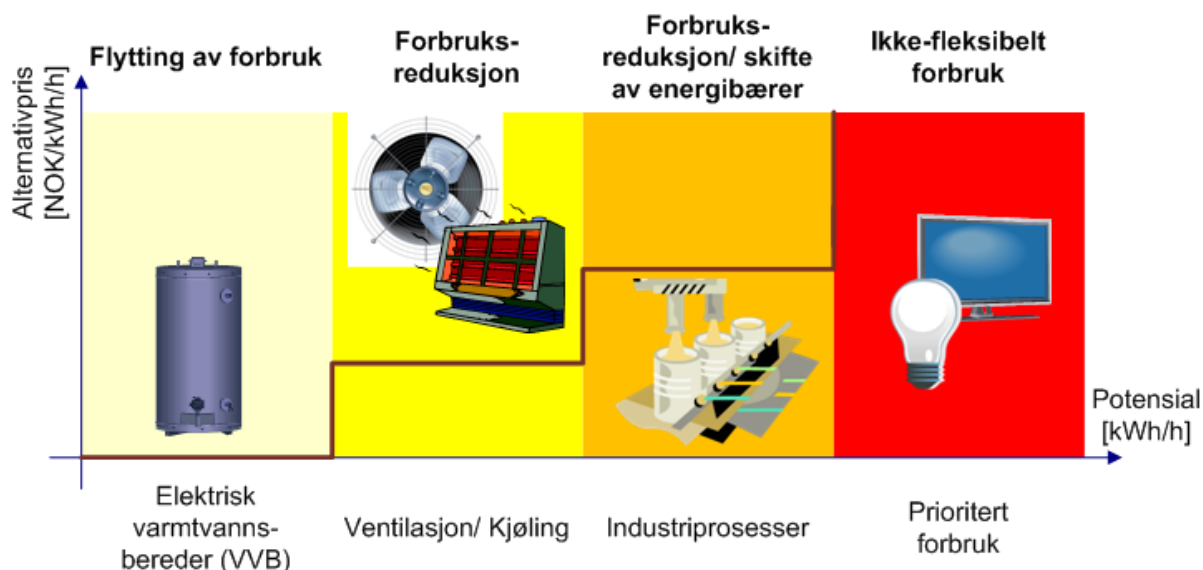
Begrepet *lavprioritert forbruk* ble definert i prosjektet "Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT", og betegner forbruk som kan kobles ut for en begrenset periode, og som medfører liten eller ingen komfortreduksjon for sluttbruker (Sæle og Grande 2004). Lavprioritert forbruk har ikke brenselstyrt reserve og var et alternativ til *uprioritert forbruk* som hadde egen nettariff og brenselstyrt reserve, og *prioritert forbruk* som ikke kan kobles ut/styres.

Følgende grupperinger er definert innen kategorien lavprioritert forbruk:

- **Termisk trege belastninger** – kan lagre energi i et medium for en kortere eller lengre periode, f.eks. varmtvannsbereder (VVB) og varmeovner. Termisk trege belastninger kan være utstyrt med termostat.
 - *Belastning med termostat* – Skal holde temperaturen i lagringsmediet på et definert nivå. Energi som forbrukes i en utkoblet termisk treg belastning med termostat, vil bli tatt igjen når belastningen kobles inn igjen.
 - *Belastning uten termostat* – Vil fungere som inn-/utkobling av aktuell effekt.
- **Øvrig delforbruk** – kan ikke lagre energi, men er forbruk som kan unnværes i perioder, f.eks. motordrifter, lys- og ventilasjonsanlegg. Utkobling vil medføre en faktisk reduksjon av både effekt- og energibruk.

Ulike belastningskategorier har ulik fleksibilitet, og eksempler på dette er illustrert i Figur 4.1. Det er også vist hvilken konsekvens/kostnad styring av forbruk kan ha for kunden. Flytting av forbruk fra en time til en annen i form av utkobling av VVB kan gjøres uten at kunden merker det, og medfører null kostnad for

kunden. En forbruksreduksjon av ventilasjon og oppvarming kan gi en komfortreduksjon for kunden, og vil dermed medføre en viss kostnad. Stans av produksjonsprosesser kan ha større konsekvens for industrien, og dermed medføre en høyere kostnad enn hva som er tilfelle for ventilasjon og oppvarming. I tillegg er det ikke-fleksible belastninger, dvs. de må være tilgjengelig når kunden ønsker det. Disse inngår i kategorien prioritert forbruk.



Figur 4.1 Flexibilitet for ulike typer forbruk

4.2 Forbruk og forbrukerflexibilitet for ulike kundetyper

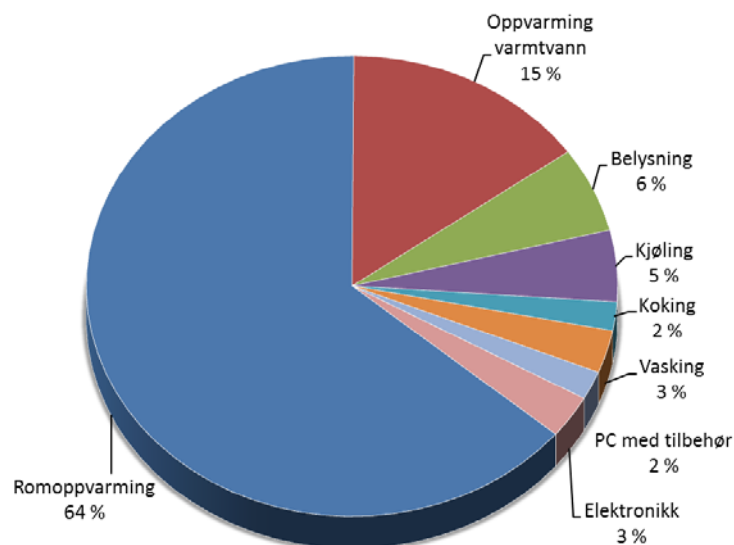
Flere testprosjekter har vist at det er mulig å motivere til og gjennomføre belastningsreduksjon hos kunder av ulik størrelse, f.eks. mindre forbrukere (husholdningskunder) eller næringskunder (> 100.000 kWh/år). Potensiale for effektreserve, arbeidsmengde for å få gjennomført tiltak, konsekvens ved frafall og antall kunder, varierer for husholdning og næring.

Husholdninger er en mer homogen gruppe enn næringskunder. Selv om husholdningskunder har lavere bidrag av lavprioritert forbruk enn næringskunder, er antall kunder større og ett tiltak kan gjøres likt hos flere kunder. For næringskunder må tiltak ofte tilpasses den enkelte, men en slik kunde kan ha stort potensiale for lavprioritert forbruk. Hvis en husholdningskunde faller fra, er konsekvensen begrenset, men desto større hvis en næringskunde trekker seg.

4.2.1 Husholdning

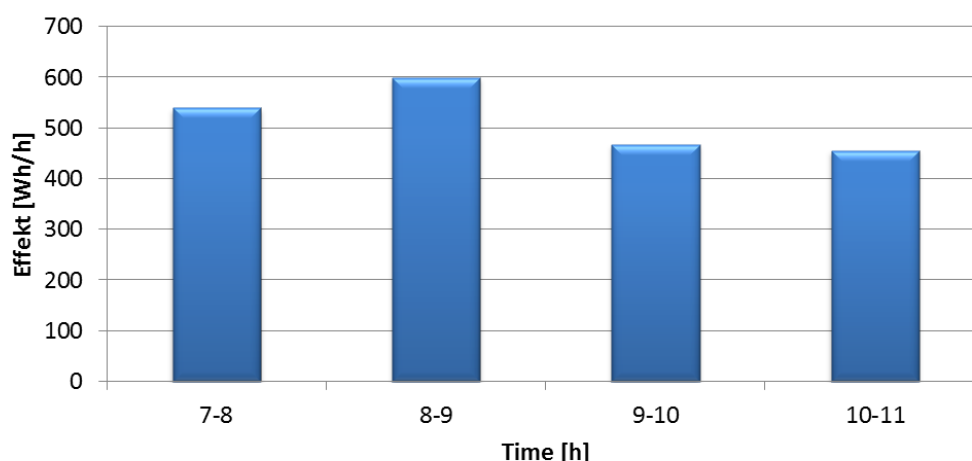
I prosjektene REMODECE og EIDeK ble strømforbruket til ulike elektriske apparater målt hos utvalgte norske husholdninger, for å finne ut hva de bruker strøm til. En fordeling av forbruket på ulike kategorier er vist i figur 4.2.

Figuren viser at en stor del av forbruket er relatert til belastninger med termisk lagringskapasitet, dvs. 64% til romoppvarming og 15% til oppvarming av varmtvann (Totalt 79 %).



Figur 4.2 Strømforbruk husholdning 2006/2007 (Grinden og Feilberg 2009)

I prosjektet "Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT" ble det gjennomført storskala uttesting av teknologi for timemåling av forbruket til ca. 10.000 husholdningskunder tilknyttet Buskerud Kraftnett (BKN)¹ og Skagerak Nett (SKN). 50% av kundene hadde mulighet for fjernstyrt utkobling av VVB. Bl.a. ble effektresponsen fra VVB testet hos kundene, for å vurdere hvor stor virkning utkobling av VVB har i ulike timer i høylastperioder. Installert effekt på VVB var 2 kW, men sammenlagret respons var lavere siden ikke alle varmtvannsberedere var på da utkoblingssignalet ble sendt. Maksimal effektrespons ble registrert i time 9 og var på 500 W. Ved å ta hensyn til tap i nettet i en høylastsituasjon (20%) representerer dette en spart kraftproduksjon på 600 W pr. kunde i time 9. Resultatet for formiddagstimene er presentert i figur 4.3 (Graabak og Feilberg 2004).



Figur 4.3 Spart kraftproduksjon som følge av utkobling av VVB (Graabak og Feilberg 2004)

¹ I dag: Energiselskapet Buskerud (EB)

Forutsatt ca. 2.0 millioner husholdningskunder i Norge, og mulighet for utkobling av VVB hos 50% av disse, representerer dette et samlet potensiale for redusert kraftproduksjon på:

$$600 \text{ W/kunde} * 2\,000\,000 \text{ kunder} * 50\% = 600 \text{ MW i husholdningssegmentet i makslast (time 9)}$$

Maksimalbelastningen til varmtvannsbereder hos husholdningskunder er sammenfallen med den nordiske maksimallasttiden. **Det betyr at den mest kostbare strømmen brukes til å varme opp vann.**

4.2.2 Næringskunder

Innen MabFot-prosjektet ble det bl.a. gjennomført et testprosjekt med Tambartun Kompetansesenter², hvor en tidsvariabel effekttariff og utkobling av lavprioritert forbruk ble testet ut (Se også kap. 5.2.2). Tambartun Kompetansesenter ble valgt fordi de hadde helelektrisk oppvarming (panelovner) og anlegg for sentral driftskontroll (SD-anlegg) for styring av elektriske apparater.

Reduserbart forbruk ved Tambartun ble kartlagt, og for hver forbrukskategori ble det angitt installert effekt og mulig varighet for utkoblingsperiode (Tabell 4.1). Forbruk relatert til drift av svømmehallen er markert med grått i tabellen.

Tabell 4.1 Reduserbart forbruk Tambartun (Grande, Solem et al. 2007)

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 (2 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 ventilasjon	X		X	X

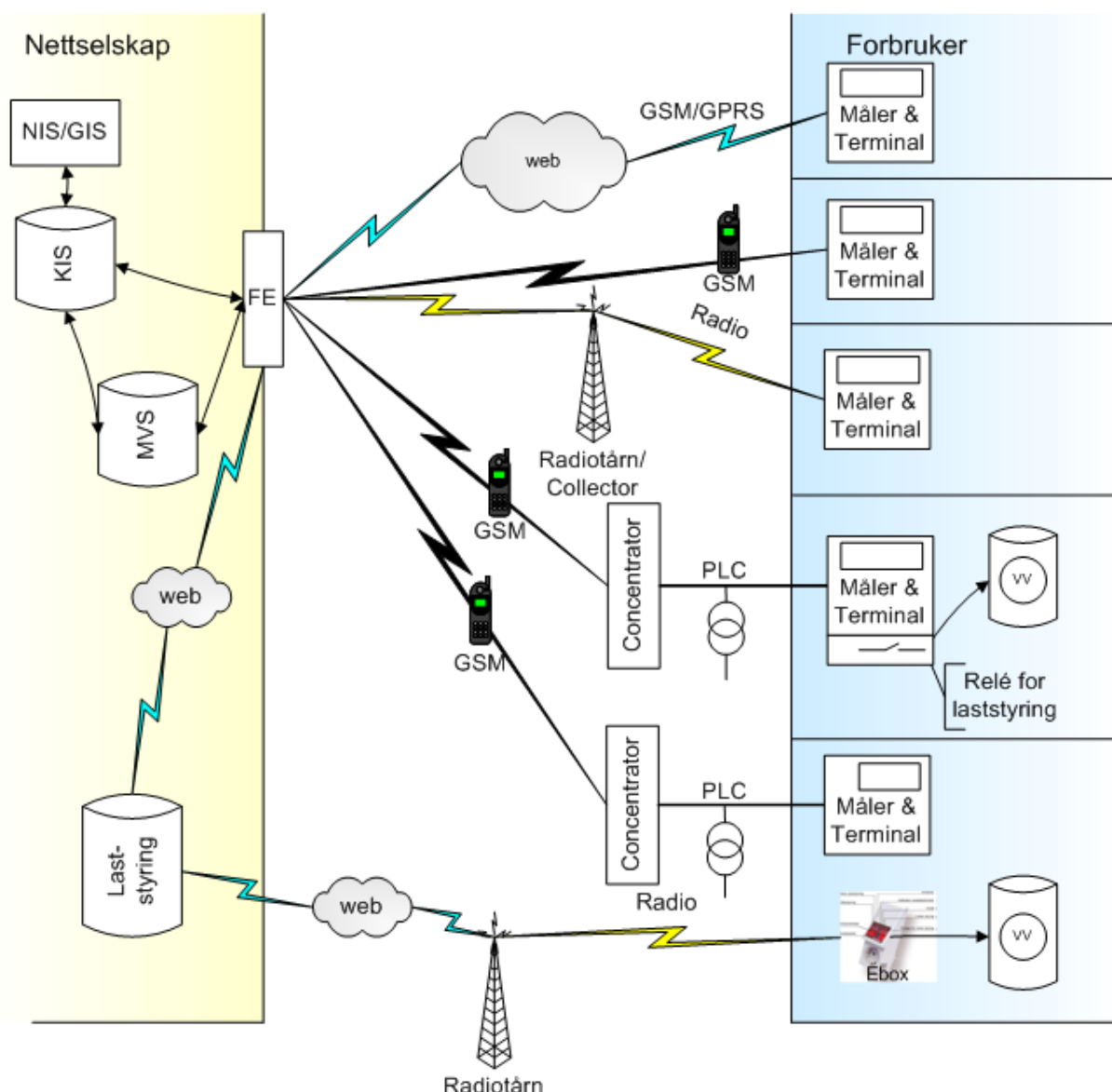
Hva som er lavprioritert forbruk hos næringskunder vil varierer fra bedrift til bedrift (Grande, Solem et al. 2007). Det er større variasjoner mellom næringskunder enn hva som hittil har vært erfart blant husholdningskunder. Dette innebærer at det er behov for nøye gjennomgang av mulighetene hos hver enkelt næringskunde.

² Behandlingsinstitusjon, Statsbygg. Årlig strømforbruk > 100.000 kWh.

4.3 Teknologi

4.3.1 Måler teknologi (TVK³/AMS)

Ulike typer måle- og styringsteknologier har blitt benyttet i ulike testprosjekter, og ett fellestrekk for de fleste testene er at forbruket til kundene har vært timemålt ved bruk av teknologi for toveiskommunikasjon (TVK). Lavprioritert forbruk har blitt koblet ut, enten ved bruk av et relé i målerterminalen for utkobling av hele elektriske kurser, eller et eget relé (Ebox) montert direkte i stikkontakt for aktuell belastning. En oversikt over ulike teknologi- og kommunikasjonsløsninger er presentert i figur 4.4.



Figur 4.4 Teknologi testet ut i prosjektet "Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT"

³ TVK = Toveiskommunikasjon. Teknologi for automatisk måling av strømforbruk og evt. for styring av enkeltbelastninger tilknyttet elektriske kurser hos sluttbruker.

I følge Forskrift om måling og avregning (NVE 1999) skal nettselskap kvalitetssikre måleverdiene og håndteringen av disse gjennom hele måleverdikjeden, men det eksisterer ingen klar og entydig definisjon.

I MabFot-prosjektet ble følgende utkast til definisjon av måleverdikvalitet og –tilgjengelighet utarbeidet (Morch og Feilberg 2006):

Måleverdikvalitet defineres som 100 % minus det prosentuelle avviket mellom målt energikvantum og sant energikvantum innenfor kundens avregningsperiode.

Måleverditilgjengelighet defineres som 100 % minus det prosentuelle antall manglende eller feilaktige verdier innenfor kundens avregningsperiode.

Måleverditilgjengelighet en gitt uke = $T = [UKM / (TKM * 168)] * 100\%$ (Feilberg og Graabak 2007)

Der:

UKM - Antall timer (med unntak av estimerte verdier) tilgjengelig for gitt uke

TKM - Totalt antall kunder med timemåling for gitt uke

Parallelt med at teknologi for måling og styring av forbruk har blitt testet ut i flere forskningsprosjekter, har det vært et stadig økende fokus på at slik teknologi bør installeres til alle kunder i Norge. I 2008 kom NVE med en anbefaling om fullskala utbygging av AMS, og endelige forskrifter kom i 2011. Til tross for at endelige krav ikke kom før, har flere nettselskap allerede gjennomført fullskala utrulling av måler teknologi. I Sverige var det krav om månedlig avlesning innen 1. juli 2009, og flere nettselskap installert TVK for å tilfredsstille kravet. Viktige erfaringer fra tre norske og tre svenske nettselskap som hadde bygd ut eller var i ferd med å bygge ut TVK i full skala har blitt beskrevet, med fokus på montasje, utbygging, drift og forbrukerfleksibilitet (Graabak og Sæle 2008).

I tillegg har det blitt utarbeidet en kravspesifikasjon relatert til fullskala utbygging av AMS. Formålet med denne kravspesifikasjonen er å utarbeide en felles forståelse for bransjen om hvilke krav som er ønskelig ved fullskala utbygging av AMS (Graabak og Sæle 2011), og å bidra til en standardisering ved at flere nettselskap stiller noenlunde samme krav i forbindelse med anskaffelse av teknologien.

4.3.2 Styring av forbruk

Styringsteknologi er viktig for å realisere forbrukerfleksibilitet, og sikre en varig respons. Teknologien kan f.eks. brukes til å koble ut forbruk til bestemte tidspunkt, ut fra gitte prissignaler og/eller ved nettrelaterte behov. Styringsteknologi kan enten være kontrollert av en ekstern aktør (f.eks. via AMS) eller av kunden.

I gjennomførte prosjekter har følgende kategorisering blitt benyttet for å koble ut forbruk hos kundene:

- **Sentral styring** – belastninger hos kunden styres inn/ut fra sentralt hold, hovedsakelig nettselskap.
 - Mulige styringsteknologier kan være utkobling av enkelte kurser via TVK/AMS-systemer eller styring av enkeltbelastninger via et dedikert relé med kommunikasjonsmulighet.
- **Lokal styring** – kunden bestemmer selv hvordan og når ulike belastninger skal kobles inn/ut, ut fra de prisinsentiver kunden har fått og egen betalingsvilje
 - Mulige styringsteknologier kan være anlegg for sentral driftskontroll (SD-anlegg), tidsreléer på enkelte belastninger eller maksimalvokter for utkobling av belastninger hvis kundens totalforbruk overstiger et definert nivå.

Følgende utkoblingskriterier har blitt vurdert i forbindelse med ulike testprosjekter:

- *Spotpriskriteriet* – Lavprioritert forbruk kobles ut når spotprisen overstiger en predefinert grense.
- *Reservekriteriet* – Lavprioritert forbruk kobles ut ved behov for aktivering av reserver ved problemer med effektbalansen eller flaskehalsen i nettet.
- *Maksimallastkriteriet*⁴ - Lavprioritert forbruk kobles ut når forbruket til kunden i perioder med effektknapphet overstiger en definert effektgrense. I perioder med overskudd på effekt kan forbruket til kunden overstige den definerte effektgrensen uten at utkobling gjennomføres.

⁴ Pga. manglende tekniske løsninger har ikke dette kriteriet blitt inkludert i noen pilottester.

5 Hvordan; Incentiver til forbrukerfleksibilitet og erfaringer fra testprosjekter

I dette kapitlet beskrives incentiver til forbrukerfleksibilitet, og erfaringer fra utvalgte testprosjekter i RENERGI-prosjekter. Beskrivelsen fokuserer mest på aktivitetene i prosjektet "Markedsbasert Forbrukstilpasning", siden de er basert på størst erfaring og er foredlete versjoner av de første testprosjektene.

Fra "Sluttbrukermarked"-prosjektet i 1996 og fram til i dag har strømkunden gått fra å kun være et punkt i nettet der det ble tatt ut strøm, til å bli en framtidig ressurs for kraftsystemet og alle involverte aktører. I løpet av denne perioden har det blitt testet ut ulike prissignaler (nettariff og kraftprodukt) som stimulerer til forbruksendring og teknologi for fjernutkobling av lavprioritert forbruk. Testprosjektene har blant annet vist at motivasjon og incentiver hos nærings- og husholdningskunder har en stor betydning for endring av forbruk.

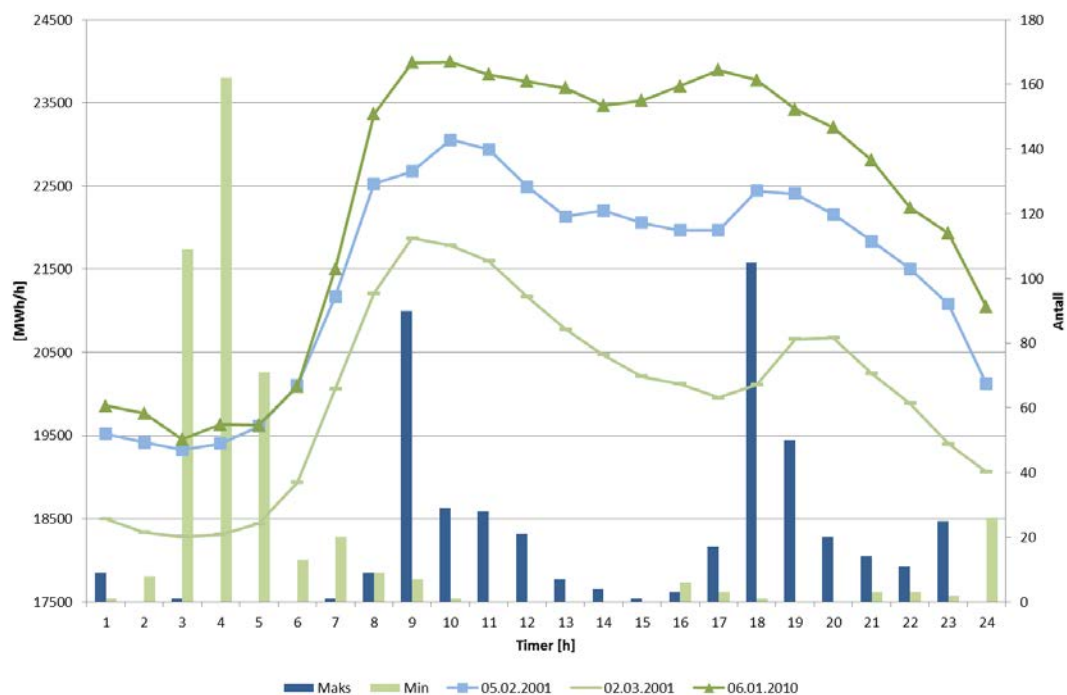
Generelt er incentivene utarbeidet for å stimulere til reduksjon i forbruk i perioder med knapphet på energi og/eller effekt, f.eks. ved høye spotpriser pga. stor etterspørsel og begrenset produksjonskapasitet, eller ved flaskehals i kraftnettet.

Tabell 5.1 Incentiver og teknologi inkludert i testprosjekter beskrevet i dette kapitlet

Incentiver og teknologi		Testaktiviteter			
		Trondheim (kap. 5.1.1)	SparKjøp (kap. 5.1.2)	Malvik (kap. 5.2.1)	Tambartun (kap. 5.2.2)
Kraftprodukt	Fastpris med returrett	X			
	Spotpris timebasis		X	X	
	Finansiell sikring	X			
Nettariff	Tidsvar. energitariff			X	
	Tidsvar. effekttariff				X
Styring	Sentralt (via TVK)			X	
	Lokalt		X		X
Måling	Time		X	X	X
	Selvavlesning (kvartal)	X			

De tidsvariable nettariiffene er beregnet ut fra gjennomsnittlig forbrukskurve i nettområdet slik at gjennomsnittskunden får uendret kostnad. Kunder som reduserer forbruket i topplast reduserer sin kostnad mens kunder som har stort forbruk i topplast får økt kostnad.

I kraftmarkedet fastsettes spotprisen for hver time for neste døgn ut fra tilbud og etterspørsel på kraft (kap. 3). Til tross for at spotprisen ikke fastsettes før 12-36 timer i forveien av selve driftstimen, kan man anta en viss forutsigbarhet i prismønsteret. I figur 5.1 er det presentert et histogram som viser hvor mange ganger maksimum- og minimumsverdi for spotprisen inntraff i de ulike timene over døgnet i perioden fra 20. nov. 2006 til 16. nov. 2008. Eksempelvis var det 140 døgn at maksimalprisen inntraff i time 9 og 264 døgn at minimumsprisen inntraff i time 4. Forbrukere med timespot kan utnytte denne informasjonen og oppnå gevinst ved å styre forbruk fra høyprisperioder til lavprisperioder. Figuren viser også at de høyeste spotprisene inntreffer når det er knapphet i kraftsystemet, dvs. ved makslast.



Figur 5.1 Histogram for maks og minimum spotpriser i løpet av en dag (NO2), kombinert med totalforbruk i Norge (Source: NordPool)

5.1 Kraftprodukter

Nedenfor beskrives eksempler på kraftprodukter som stimulerer til forbrukerfleksibilitet på både lang og kort sikt, hhv. sesong- og timebasis.

5.1.1 Fastpris med returrett (FMR)

Kraftproduktet "Fastpris med returrett" (FMR) gir kundene insentiv til å redusere forbruket sitt i knapphetsperioder (Grande, Sæle et al. 2007). Kraftproduktet ble utviklet av Trondheim Energi Kraftsalg⁵, og produktet tilbudte kundene råvarepris (Elspot) for sitt strømforbruk og en prissikring av et forhåndsbestemt årsvolum ved bruk av Nord Pools finansielle marked. Kunden tilbys altså et produkt til det som normalt er kraftsellers innkjøpspris, tilsvarende det som tilbys som en del av porteføljeforvaltningen for næringskunder.

Elementer i kraftproduktet:

- **Elspot-kontrakt.** Kundene ble avregnet ut fra gjennomsnittsprisen i avregningsperioden, dvs. hvert kvartal, fordi kundene hadde selvavlesning av målerstand hvert kvartal.
- **Finansiell kontrakt.** Kundene kjøpte et fast avtalt volum for en periode på ett år. Volumet ble prissikret av kraftleverandør, med en fordeling i volum over året ut fra en beregnet profil for den aktuelle kundemassen.
- **Påslag.** For å dekke kostnader til markedsføring, finansiell handel og lignende hadde kraftproduktet et fast påslag på kr. 75/mnd.

⁵ I dag: Trondheim Kraft

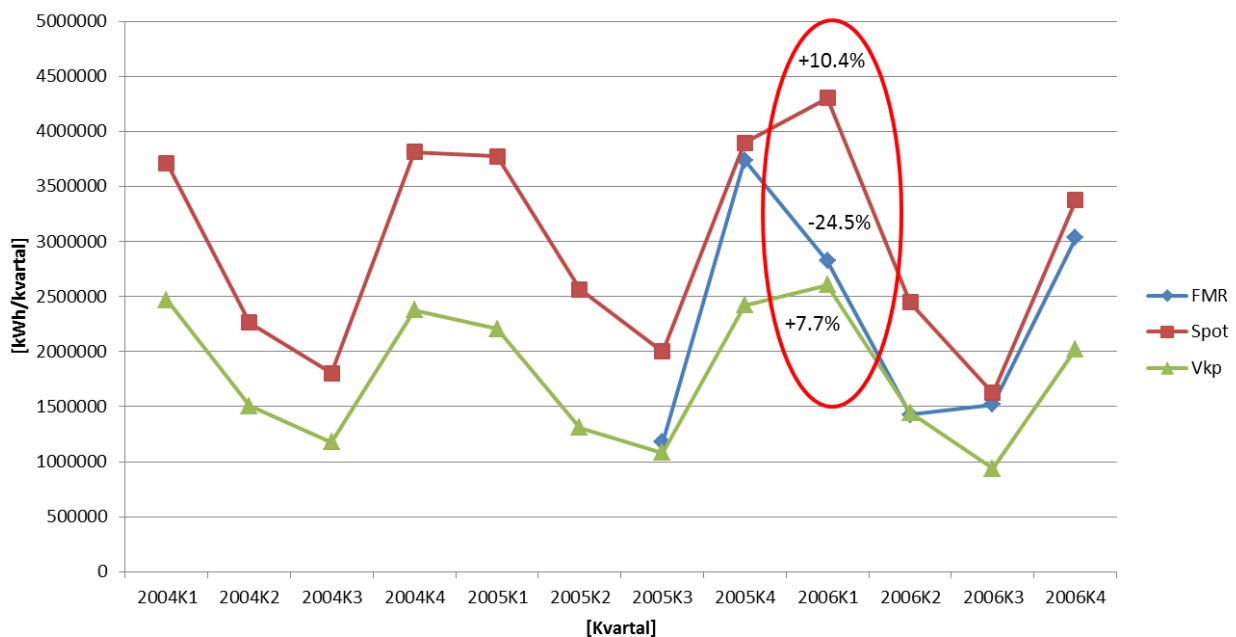
I tradisjonelle fastpriskontrakter antar kraftselger forbruket til kunden, og de tar også risikoen knyttet til forskjellige prisområder i kraftmarkedet. Med FMR-produktet kjenner kraftleverandøren volumet som skal sikres, og kunden overtar volumrisikoen siden fysisk avregning skjer ut fra spotpris. Dette er fornuftig siden det er kunden som kan styre forbruket og tjener på redusert forbruk ved høye spotpriser. Kunden overtar også områderisikoen siden oppgjøret skjer til spotprisen i det prisområdet kunden tilhører. Normalt vil det være små prisforskjeller mellom prisområdene, men da Midt-Norge ble definert som eget prisområde pga. kraftkrise, ble det store avvik mellom ulike prisområder.

Kraftproduktet ble markedsført som et fastprisprodukt for et fast volum, hvor forbruk mindre enn avtalt kan selges tilbake til markedet og merforbruk må kjøpes til løpende spotpris. Dette ble illustrert med en flaske med et restvolum som kunne levere tilbake (Se figur 5.2).



Figur 5.2 Returflaske

Forbruket til kunder med FMR-kontrakt ble sammenlignet med kunder som hadde kraftproduktene spot og variabel Kraftprodukt (Vkp). Kvartalsvis forbruk pr. kraftprodukt for 800 kunder er vist i figur 5.3.



Figur 5.3 Strømforbruk pr. kvartal for husholdningskunder med ulike kraftprodukter (Grande, Sæle et al. 2007)

Trenden for de ulike kraftproduktene er høyt forbruk i vinterhalvåret (1. og 4. kvartal) og lavt i sommerhalvåret (2. og 3. kvartal). Figuren viser at de tre produktene i hovedsak følger hverandre med unntak av 1. kvartal 06 (rød ring) hvor det er en markert nedgang (24,5 %) for FMR-kundene. For kunder med Spotpris-kontrakt og Variabel kraftprodukt økte forbruket med hhv. 10,4 % og 7,7 %.

Kraftsituasjonen gjennom året 2006 var spesiell og godt egnet til å illustrere fordelene med produkter som "Fastpris med returrett". Kunder som inngikk avtale før og omkring årsskiftet oppnådde nemlig en gunstig pris i forhold til utviklingen utover året. I 1. kvartal var systemprisen betydelig høyere enn ved årsskiftet, og FMR-kundene hadde en klar gevinst av forbruksreduksjon. En spørreundersøkelse tyder på at disse kundene i stor grad gikk over til vedfyring.

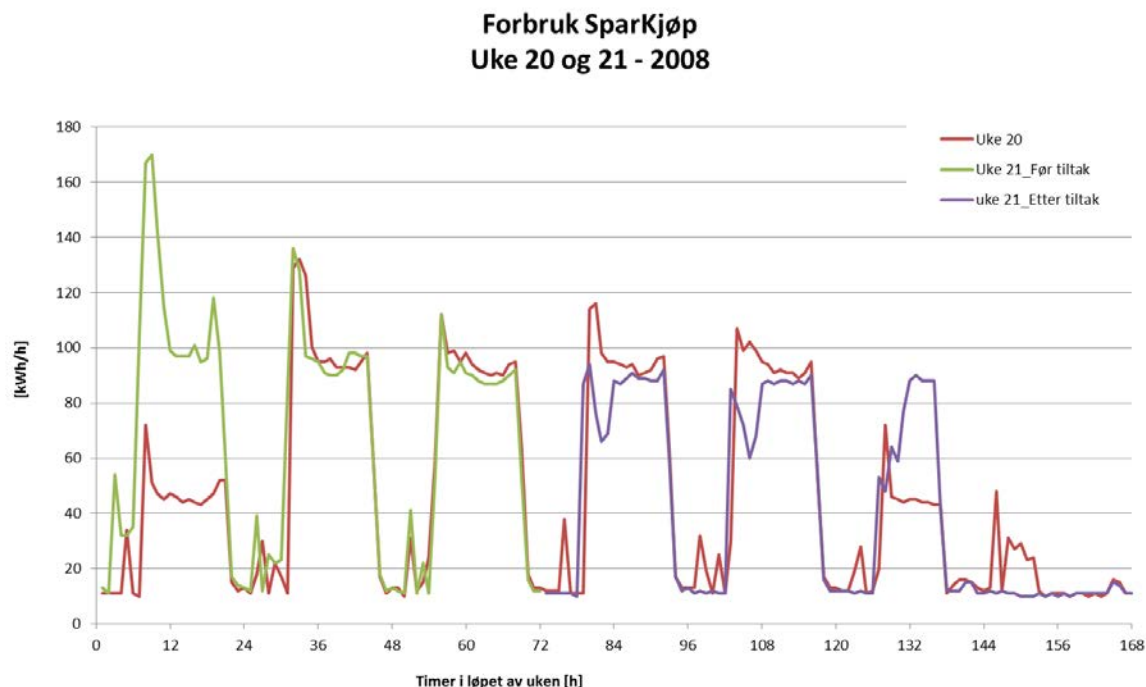
I 3. kvartal 06 steg systemprisen ytterligere og var i perioder over dobbelt så høy som ved årsskiftet. Likevel har kurven for FMR en stigning i denne perioden. Dette viser at oppvarming er den viktigste kilden til reduksjon av elforbruk for husholdningskundene.

5.1.2 Spotpris på timebasis

Flere store næringsbygg har allerede installert teknologi for sentral driftskontroll, med mulighet for tidsstyring av enkelte belastninger. I MabFot-prosjektet ble det gjennomført en test med en stor butikk hvor SD-anlegg var installert. Kunden inngikk en kraftavtale med timebasert spotpristariff med timeavregning. Det innebar at kunden ble avregnet for forbruket hver time ut fra spotprisen den aktuelle timen. Med en slik kraftavtale er all risiko gitt til kunde, og gevinsten til kraftleverandør er relatert til påslaget. Kunden har insentiv til å redusere forbruket sitt i enkelttimer med høye spotpriser.

Opprinnelig var SD-anlegget programmert slik at forbruket ble styrt ut fra åpningstidene til butikken, men i testen ble styringen endret til å også ta hensyn til spotprisene. Fortrinnsvis å redusere belastningen i de timene det var forventet høye spotpriser (Se figur 5.1).

Resultatet av endret styringsprinsipp er presentert i figur 5.4. Tiltak ble iverksatt fjerde dag i uke 21 2008. Endringene som ble gjort var at apparater brukt til oppvarming ble startet opp tidligere enn før, og deretter skrudd av når andre apparater ble startet opp. Apparater til oppvarming var på i periodene 05:00-07:30 og 09:45-20:00. (Forbruket første dag i uke 20 er mye lavere enn de andre dagene, fordi dette var 2. pinsedag og butikken var stengt.)



Figur 5.4 Strømforbruk på timebasis - før og etter tiltak (Grande, Sæle et al. 2008)

Figuren viser en betydelig reduksjon av forbruket i timene med forventet høye spotpriser og en betydelig reduksjon i maksimalbelastningen. Gevinsten til kunden er reduserte kostnader i timer med høye spotpriser, men også muligheter for lavere nettkostnader pga. redusert maksimalbelastning (ref. vanlig effekttariff).

5.2 Nettariffer

I flere testprosjekt har tidsvariable nettariffer blitt testet for å gi et forutsigbart prissignal til kundene. Tidsoppløsningen har vært på timebasis, med fokus på både energi og effekt. De tidsvariable nettarriffene har reflektert kraftsituasjonen og hatt høye priser når maksimalbelastningen (over døgnet) inntreer i Norge. I flere tilfeller vil nettarriffen forsterke prissignalet til kunden fordi inntjeningen ut fra kun spotprisvariasjoner ikke er nok. Prosjektene har sett det som nødvendig å gi prissignaler som stimulerer til samfunnsøkonomisk gevinster av forbrukerfleksibilitet.

For å redusere risiko for kundene, har styringsteknologi blitt benyttet til å koble ut forbruk i definerte høyprisperioder. Styringsteknologi er viktig for å sikre en varig forbrukerrespons.

De tidsvariable nettarriffene er beregnet ut fra standard nettarriff for de involverte nettselskapene. Fastleddet er beholdt uendret og tapsleddet dekker de reelle tpskostnader. Det tidsvariable leddet er beregnet slik at en gjennomsnittlig kunde som ikke endrer sitt forbruksmønster, skal ha uendret nettleie på årsbasis, mens kunder som reduserer sitt forbruk i de definerte høyprisperiodene, vil kunne oppnå betydelige besparelser.

I følge forskrift om Økonomisk og Teknisk rapportering (NVE 1999) skal energileddet i nettarriffen fastsettes på grunnlag av marginale tpskostnader i nettet, men det er ikke spesifisert hvilket nettnivå som skal legges til grunn. I forbindelse med testprosjektene er det kraftsituasjonen i sentralnettet som er benyttet som grunnlag for utarbeidelse av ulike tariffledd. Det ble søkt NVE om dispensasjon for å teste ut alternative nettarriffer.

Tariffene ble utviklet for å gi gevinst til den kunden som er fleksibel. Kunden betaler til en hver tid for faktisk forbruk, men får økonomisk gevinst ved at forbruk flyttes fra høypris- til lavpristimer. (I motsetning til tariff for uprioritert forbruk som gir rabatt til kunden uten at forbruk nødvendigvis er koblet ut.)

5.2.1 Tidsvariabel energitariff kombinert med sentral styring av lavprioritert forbruk

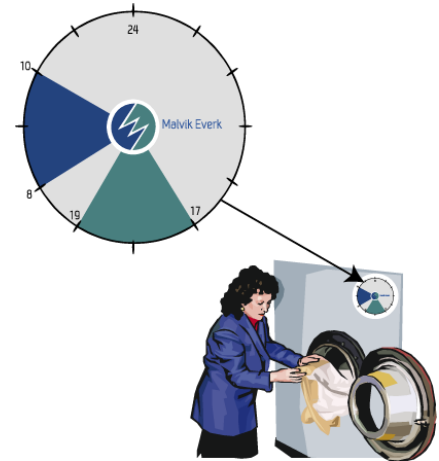
En tidsvariabel energitariff med forsterket pris i definerte høyprisperioder formiddag og ettermiddag på hverdager, ble testet ut i prosjektene "Forbrukerfleksibilitet" og "MabFot". Hovedprinsippene var like, men noen justeringer ble gjort før testprosjektene i MabFot.

Blant 41 husholdningskunder til Malvik Everk ble det i MabFot-prosjektet testet ut en tidsvariabel energitariff med høyprisperioder kl. 08-10 og kl. 17-19. Kundene ble også tilbudt en kraftavtale med spotpris på timebasis. Ved hjelp av sentral styring via TVK ble lavprioritert forbruk koblet ut i definerte høyprisperioder.

10% av kundene hadde vannbåren varme med installert elkjele på 12-15 kW. Resten av kundene hadde VVB med installert effekt på 2-3 kW (Sæle og Grande 2011).

Kundene fikk også tilsendt en magnetbrikke "Elbrikken", formet som en klokke hvor høyprisperiodene var markert. Elbrikken kunne plasseres på vaskemaskin, tørketrommel og oppvaskmaskin for å informere om høyprisperiodene. På en egen webside kunne hver kunde se sin forbruksprofil og følge med på nettkostnadene sine sammenlignet med normaltarif.

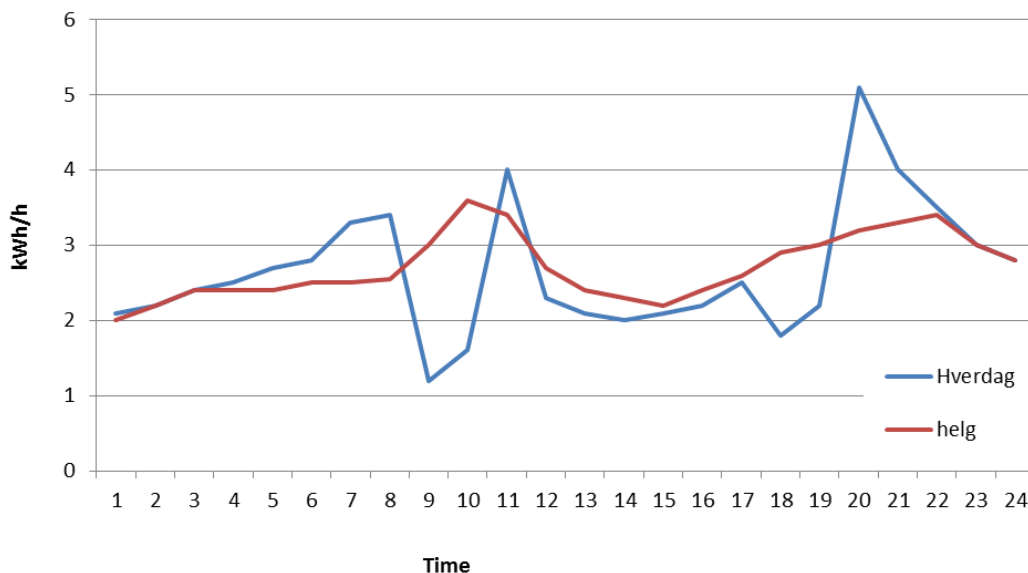
Styring av forbruk skjedde via fjernstyrte reléer på kommunikasjons-terminalen hos kunden (TVK). Hver terminal hadde tre reléer, ett på 16 A og to på 6 A. Varmtvannskurser og annet forbruk sløyfes innom reléene, mens ved styring over 16 A ble det benyttet kontaktorer.



Figur 5.5 Elbrikken Malvik Everk

I figur 5.6 er det vist gjennomsnittlig dagprofil for en husholdningskunde med elbasert vannbåren varme. De skraverete områdene angir høyprisperioder, hvor lavprioritert forbruk ble koblet ut. Gjennomsnittlig respons fra husholdningskunder med VVB var på ca. 1 kWh/h time 9, mens tilsvarende respons for husholdningskunder med elbasert vannbåren varme var på ca. 2.5 kWh/h i time 9.

Responseren er større enn hva som ble erfart fra Forbrukerfleksibilitet-prosjektet (Se Figur 4.3), og det er begrunnet ut fra Elbrikken som en enkelt "påminner" om høyprisperiodene.



Figur 5.6 Gjennomsnittlig dagprofil - kunde med vannbåren varme (Grande, Sæle et al. 2007)

Erfaringene fra Malvik viser at et forutsigbart prissignal til kundene, kombinert med enkel informasjon er viktig. For å opprettholde komfort for kunde og sikre en varig forbrukerrespons, er det nødvendig med teknologi – gjerne fjernstyring av forbruk for å hjelpe kunden med å redusere forbruket sitt i høyprisperioder.

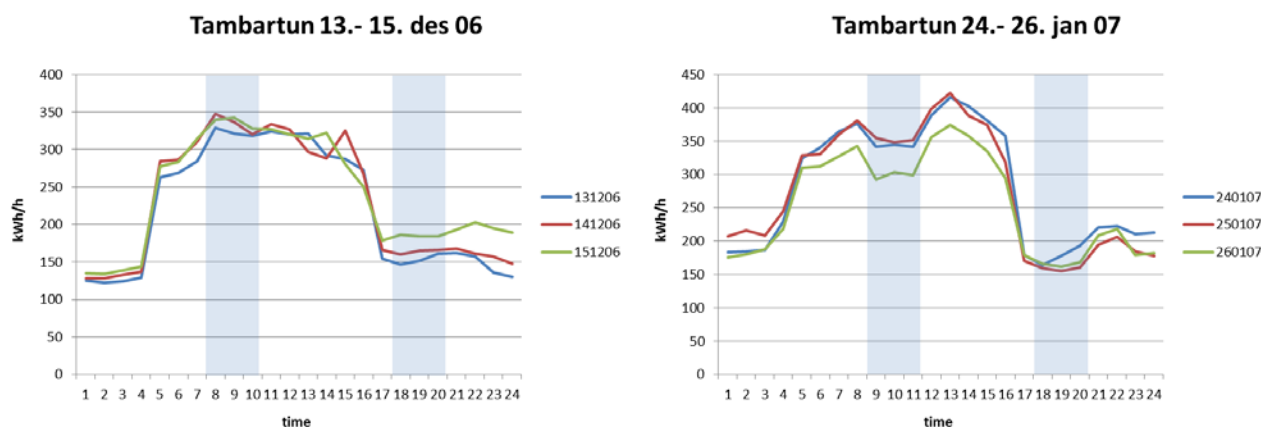
Høyprisperiodene i den tidsvariable energitariffen er definerte ut fra når man nasjonalt kan forvente stor belastning i kraftsystemet og med dertil tilhørende høye spotpriser. Gjennom denne nettariffen lærer kundene å være fleksible i forventede høylastperioder, og er dermed forberedt når en knapphetssituasjon inntreffer.

Malvik-piloten ble gjennomført med kun 41 husholdninger, men hadde dette vært implementert i full skala i Norge og fleksibilitet hadde blitt inkludert i prissettingen i kraftmarkedet, er det stor sannsynlighet for at høylastperioder kunne vært unngått.

5.2.2 Tidsvariabel effekttariff kombinert med lokal styring av lavprioritert forbruk

I testprosjektet ved Tambartun Kompetansesenter ble lavprioritert forbruk kartlagt (se kap. 4.2.2) og en tidsvariabel effekttariff ble testet ut. Den tidsvariable effekttariffen innebar at kun forbruk registrert i de definerte høyprisperiodene (kl. 08:00-11:00 og kl. 17:00-20:00, på arbeidsdager 1. oktober – 31. mars) ble benyttet i avregningen. SD-anlegg ble benyttet for å styre lavprioritert forbruk og redusere strømforbruket i de definerte høyprisperiodene.

Figur 5.7 viser strømforbruket på timebasis før og etter introduksjon av tidsvariabel effekttariff. Kurvene viser en reduksjon i forbruket i de definerte høyprisperiodene (skraverte felt). I høyprisperioden ble det registrert en belastningsreduksjon på ca. 50 kWh/h.



Figur 5.7 Strømforbruk på timebasis før og etter introduksjon av tidsvariabel effekttariff (Grande, Sæle et al. 2008)

Ved Tambartun ble det gjennomført et utkoblingsforsøk med en varighet på 24 timer fra kl. 00:15 den 26. februar til kl. 00:15 den 27. februar 2007. En sammenligning av forbrukskurvene for den 26. og 27. februar, gir en forbruksreduksjon på 30-70 kWh/h, og totalt ca. 1200 kWh/h i løpet av hele perioden. Observasjoner fra utkoblingsforsøket er oppsummert i tabell 5.2.

Tabell 5.2 Observasjoner fra utkoblingsforsøk 26. februar 2007 (Grande 2007)

Belastning	Installert effekt [kW]	Anslått pådrag ved utkobling [%]	Observasjon ved utkobling i 24 timer
Varmekabler tak	16	50	Utkobling går bra. Ingen akutt fare for tak.
Fortausvarme	14	50	Utkobling går bra. Ingen akutt fare. Ev. snø må fjernes.
Svømmehall	175	25	Utkobling går bra. Ingen akutt fare. Temperatur i hall falt fra 31 °C til 24 °C. Relativ fuktighet (RF) steg fra ca. 45% til 70%. Utkobling medførte dugg på ruter. RF var normal igjen etter en halv times kjøring av ventilasjonsanlegget.
Vannvarmer basseng	60	50	Utkobling går bra. Vanntemp. sank med 1 °C. Normaltemperatur igjen etter 8 timer.
Varmtvannsberedere svømmehall	60	20	Utkobling går bra. Vanntemp. synker ca. 1 °C pr time uten pådrag hvis det ikke er tapping. Normal temperatur igjen etter ca. 1 time.

Utkoblingsforsøket viser at det er en betydelig reduserbar effekt i næringsbygg, og Tambartun kan bidra med effekt- og energireduksjon i en presset kraftsituasjon. Hos Tambartun ligger en stor del av effekten i trege varmelaster, noe som innebærer økt effektbehov i timene hvor energien skal tas igjen. Utkobling kan gjøres over en begrenset periode uten nevneverdige ulemper for brukerne av bygget.

6 Derfor; Oppsummering

I løpet av de siste tiårene har strømkunden gått fra å være et punkt i nettet med uttak av strøm, til å bli en framtidig aktør i kraftmarkedet. Flere testprosjekter har vist at forbruk, og da spesielt lavprioritert forbruk, kan tilpasses den løpende kraftsituasjonen, men det forutsetter at kunden har tilstrekkelige insentiver til å gjøre dette. Forbrukerfleksibilitet har en klar samfunnsøkonomisk nytte, men det er utfordringer knyttet til realiseringen fordi enkelte viktige ledd i kjeden fram mot forbruker ikke ser lønnsomhet i nødvendige tiltak.

En av de viktigste utfordringene, som ble observert i løpet av disse prosjektene er plassering av forretningsmessig ansvar for realisering og oppfølging av forbrukerfleksibilitet. Det er i praksis mangel på en omforent forretningsmodell som vil kunne implementeres på nasjonalt nivå for å utnytte forbrukerfleksibilitet som ressurs.

6.1 Nytteverdier for involverte aktører

Forbrukerfleksibilitet vil kunne bidra positivt i det norske kraftsystemet, men for å få forbrukerfleksibilitet implementert, er det behov for samspill mellom involverte aktører. Nedenfor er det gitt en oppsummering og vurdering av hvordan oppnådde erfaringer kan utnyttes til å oppnå storskala gevinster for involverte aktører.

- **Samfunnet**

Prisfleksible anmeldelser kan bidra til reduserte pristopper i Elspot, og dermed også redusert gjennomsnittspriser. Dette vil ha betydelige samfunnsøkonomiske gevinster for alle som kjøper eller selger strøm. Anmeldt prisfleksibilitet kan også bidra til at regionale prisforskjeller jevnes ut, og man unngår flaskehals. Redusert maksimalbelastning kan videre bidra til at man unngår oppstart av mobile gasskraftverk, med dertil påfølgende CO₂-gevinst.

- **Kunde**

Testprosjektene har vist at kundene som har deltatt er interesserte i og villige til å endre atferd, og dette er hovedsakelig begrunnet ut fra muligheten for reduserte kostnader. For kundene er det begrenset besparelse ved å endre forbruket sitt kun ut fra spotpris. Det er derfor i de ulike prosjektene blitt benyttet en tidsvariabel nettariff som reflekterer forventede høylastperioder. Et forutsigbart prissignal som også er enkelt og forståelig for kundene. Lavprioritert forbruk med termisk lagringskapasitet kan kobles ut for en begrenset periode uten negativ komfort for kunden. Teknologi for styring av forbruk kan brukes til å hjelpe kunden med å flytte forbruk fra høylasttimene og for å sikre en varig respons.

- **Nettselskap**

Forbrukerfleksibilitet og flytting av forbruk fra høylasttimer kan bidra til redusert maksimalbelastning i nettet, noe som igjen kan gi reduserte tapskostnader og mulighet for å utsette nettinvesteringer. Investering i tiltak for forbrukerfleksibilitet kan være et alternativ til tradisjonelle nettinvesteringer (i noen sammenhenger kalt "Balanseprinsippet").

- **Kraftselger**

Prisfleksibel anmelding i kraftmarkedet og forbrukerfleksibilitet kan gi kraftselgere grunnlag for utvikling av nye produkter og nye forretningsområder, med mulighet for å erverve seg nye kunder. Muligheten til å styre forbruket kan bidra til redusert anmeldingsrisiko og ubalanse mellom anmeldt volum og faktisk forbruk.

- **Systemoperatør/Kraftmarkedet**

Forbrukerfleksibilitet vil bidra til et mer effektivt kraftmarked, økt andel effektreserver og mulighet for å redusere antall timer med flaskehals i kraftnettet.

6.2 Veien videre i den nye hverdagen – Forskningsutfordringer

I RENERGI-prosjektene og tilgrensende aktiviteter har det blitt testet ut ulike insentiver og teknologier for realisering av forbrukerfleksibilitet. Med den teknologiske utviklingen som har vært det siste tiåret, er det i dag ikke teknologien som begrenser hva som er mulig. Alle kunder i Norge vil få AMS innen 1.1.2017 og avansert teknologi for bl.a. styring og overvåking vil gjøre kraftsystemet om til et smartere nett (SmartGrid).

SmartGrid og AMS vil muliggjøre formidling av detaljert informasjon til kunden om faktisk forbruk og kraftsituasjonen, og være et viktig grunnlag for å gjøre forbrukerfleksibilitet med attraktiv og effektiv. Dette er en mulighet man må benytte seg av.

Klimakrise har ført til økt fokus på energibruk, og da spesielt muligheten for fornybar energiproduksjon, redusert CO₂-utslipp og energieffektivisering. Dette er også noe som videre forskning bør fokusere på.

- *Fornybar energiproduksjon* innebærer bl.a. økt andel vindkraft og solceller. Distribuert produksjon kan være helt ned på enkeltkundenivå (plusskunde). Sammenlignet med store vannkraftverk, er det større og lite forutsigbare variasjoner i kraftproduksjon fra vindkraft og solceller, noe som øker behovet for balansetjenester. Dette kan avhjelpest med fleksibilitet på forbrukersiden – for å sikre balanse mellom produksjon og forbruk. Fornybar energiproduksjon vil bidra til redusert CO₂-utslipp (ved å erstatte termiske kraftverk).
- Elektrifisering av transport er et tiltak som også vil bidra til *redusert CO₂-utslipp*, men igjen vil det øke bruken av elektrisitet og tilsvarende vesentlig økning av fleksibilitet hos sluttbrukere både med hensyn til økning og reduksjon av forbruket. I tillegg til å bidra til økt bruk av elektrisitet i overskuddsperioder, kan elbilenes batterier bli en viktig framtidig ressurs for kraftsystemet i knapphetsperioder.
- AMS og oppdater informasjon om eget forbruk kan gjøre kundene mer bevisste på hva de bruker strøm til, og derigjennom stimulere til *energieffektivisering*. Apparater som store elkjeler for vannbåren varme og varmepumper vil bidra til redusert energiforbruk, men kombinert med elbiler vil dette kunne bidra til økt effektforbruk for kundene. Disse nye belastningene er fleksible hvor forbrukerfleksibilitet bør realiseres.

Testprosjektene som er gjennomført de siste årene viser at forbrukerfleksibilitet er en verdifull ressurs, som er mulig å realisere med dagens teknologi. Det gjenstår derimot utfordringer med plassering av ansvar for daglig drift og oppfølging av forbrukerfleksibilitet. Oppskalering og implementering av forbrukerfleksibilitet på nasjonalt nivå vil derfor kreve utvikling og grundig vurdering av nye forretningsmodeller, som vil kunne skape riktige insentiver hos ulike markedsaktører til å utnytte denne ressursen på den mest kostnadseffektive måten.

7 Litteraturreferanser

- Bye, T., M. Bjørndal, et al. (2010). Flere og riktigere priser. Et mer effektivt kraftsystem. .
- Feilberg, N.og I. Graabak (2007). Måleverditilgjengelighet ved toveiskommunikasjon, TR A6515, SINTEF Energiforskning AS.
- Graabak, I.og N. Feilberg (2004). Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT. Analyseresultater, TR A5980, SINTEF Energiforskning AS.
- Graabak, I.og H. Sæle (2008). Erfaringer fra fullskala etablering av toveiskommunikasjon (TVK), TR A6774, SINTEF Energiforskning AS.
- Graabak, I.og H. Sæle (2011). Kravspesifikasjon fullskala utbygging av Avanserte Måle- og Styringssystemer (AMS). Toveiskommunikasjon, TR A7138, SINTEF Energi AS.
- Grande, O. S. (2007). Forbrukstilpasning Tambartun (Statsbygg). Pilot i prosjektet "Markedsbasert Forbrukstilpasning", AN 07.12.41, SINTEF Energiforskning AS.
- Grande, O. S., G. Solem, et al. (2007). Lavprioritert forbruk som ressurs for netteier og kraftmarkedet, TR A6425, SINTEF Energiforskning AS.
- Grande, O. S.og H. Sæle (2005). Market based solutions for increased flexibility in electricity consumption. Market Design 2005 - Conference on Security of Supply in Competitive Electricity Markets. Stockholm, Sweden: 55-60.
- Grande, O. S., H. Sæle, et al. (2008). Market Based Demand Response. Research Project summary, TR A6775, SINTEF Energy Research.
- Grande, O. S., H. Sæle, et al. (2002). Forbrukerfleksibilitet. Status og utfordringer, EBL-K 73-2002 / TR A5609, SINTEF Energiforskning AS.
- Grande, O. S., H. Sæle, et al. (2007). Økt priselastisitet hos husholdningskunder. Kunderespons og endring i forbruksmønster i pilottester, TR A6561, SINTEF Energiforskning AS.
- Grinden, B.og N. Feilberg (2009). Analysis of Monitoring Campaign in Norway.
- Grønli, H.og K. Livik (2000). Et velfungerende sluttbrukermarked - hva, hvem, hvorfor og hvordan?, TR A5099, SINTEF Energiforskning AS.
- Hunt, S. (2002). Making competition work in electricity, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Morch, A. Z.og N. Feilberg (2006). Dataformat og kvalitetskrav til måleverdikjeden, TR A6360, SINTEF Energiforskning AS.
- NVE (1999). FOR-1999-03-11-301 Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjenester
- NVE (1999). FOR-1999-03-11-302 Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer.
- NVE (2011). Avanserte måle- og styringssystemer. Oppsummering av høringsuttalelser og endelig forskriftstekst. NVE-rapport, NVE.
- Sæle, H.og O. S. Grande (2004). Incentiver til belastningsreduksjon i knapphetsperioder. Nettetariffer, kraftavtaler og kriterier for styring via toveiskommunikasjon, TR A5954, EBL-K 166-2004, SINTEF Energiforskning AS.
- Sæle, H.og O. S. Grande (2011). "Demand Response From Household Customers: Experiences From a Pilot Study in Norway." IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 2, No. 1.
- Vasconcelos, J. (2008). Survey of Regulatory and Technological Developments Concerning Smart Metering in the European Union Electricity Market. RSCAS Policy Papers, Florence School of Regulation, RSCAS PP 2008/01.

Vedlegg 1 – Forkortelser

AMS	Avanserte Måle- og Styringssystemer
BIP	Bukerstyrt Innovasjonsprosjekt
BKN	Buskerud Kraftnett
DR	Demand Response
EB	Energiselskapet Buskerud
FE	Front End
FMR	Fastpris Med Returrett
FP	Frame Program (EU's rammeprogram)
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications (Globalt System for Mobilkommunikasjon)
IEE	Intelligent Energy Europe
IKT	Informasjons- og kommunikasjonsteknologi
KIS	KundeInformasjonsSystem
KMB	Kompetanseprosjekt med Brukermedvirkning
MVS	Måleverdiserver
NIS	NettInformasjonsSystem
NVE	Norges Vassdrags- og Energidirektorat
PLC	Power Line Communication
RF	Relativ Fuktighet
SD-anlegg	Sentraldriftskontrollanlegg
SKN	Skagerak Nett
TR	Teknisk Rapport
TVK	Toveiskommunikasjon
VVB	Varmtvannsbereder



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no