

Potensiale for forbrukerfleksibilitet i bygninger.
Casestudie av Høgskolen i Østfold.

Demand Response Potential in buildings.
Case study of Østfold University College.

Aleksandra Roos

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
Institutt for Naturforvaltning
Masteroppgave 30 stp. 2012



Forord

Denne oppgaven inngår som en del av min mastergrad i Fornybar energi ved Universitet for miljø- og biovitenskap. Problemstillingen er basert på et forslag fra prosjektet ”Styr Smart i Smart Grid” drevet av NCE Smart Energy Markets i Halden. Masteroppgaven er utført ved Institutt for Naturforvaltning under veiledning av Terje Gjengedal (UMB) og Stig Ottesen (NCE Smart Energy Markets).

Arbeidet med masteroppgaven ble en veldig spennende og læringsrik prosess for meg. Oppgaveskriving var tilknyttet betydelig møtevirksomhet og kontakter med fagfolk, og jeg fikk mye verdifull innspill fra dem i forhold til problemstillingen. Jeg vil først og fremst rette en stor takk til mine veiledere, Terje Gjengedal og Stig Ottesen, for kontinuerlig støtte og inspirasjon de ga meg hele veien, og for deres evne til å engasjere og knytte sammen folk, og drive frem forskningsprosess. Jeg vil gjerne takke alle som tok seg tid til å møtes med meg og dele sine meninger, erfaringer og informasjon:

Jørgen Kjetil Knudsen (Statsbygg)

John Eidar Simensen (Institutt for Energiteknikk)

Ole Aasen (Statsbygg/Høgskolen i Østfold)

John Arild Raaen (Enfo Energy AS)

Virginia Hyde (Enfo Energy AS)

Jeg vil også takke Illiana Shandurkova (Brady Energy Norway AS), Satya Ram Twanabasu (Høgskolen i Østfold) og Lars Erik Aas (Høgskolen i Østfold) for oversendelse av viktig informasjonsgrunnlag og nyttige kommentærer.

Ås, 14. mai 2012

Sammendrag

Forbrukerfleksibilitet er et viktig verktøy for å optimalisere utnyttelse av energiresurser og effektivisere kraftsystemet. Forbrukerfleksibilitet kan utnyttes i situasjoner med energi- og effektknapphet, samt bidra med effektreserver til balansering av kraftsystemet. I dag utnytter man først og fremst ressurser hos store sluttbrukere, men i lys av fremtidige utfordringer er det også aktuelt å se på potensialet hos mellomstore og små forbrukere.

Tidligere studier påviste betydelig potensiale for forbrukerfleksibilitet i både næringsbygg og boliger i Norge. Dette potensialet er først og fremst tilknyttet varmelaster: el-kjeler, varmtvannsberedere, romoppvarming og varmekabler. Effektvolum som er tilgjengelig for utkobling til enhver tid vil variere i henhold til ulike faktorer hvor de viktigste er utetemperatur, utkoblingsvarighet og aktivitetsnivå i bygningen. Antall kW tilgjengelig for forbrukerrespons vil dessuten begrenses ved innføring av energieffektiviseringstiltak og permanent reduksjon av elektrisitetsforbruk i en bygning.

Elektrisitet er den viktigste energikilden i både næringsbygg og boliger i Norge. Imidlertid kan ikke alle elektriske laster utkobles i noen perioder. En rekke egenskaper bestemmer hvor velegnet en elektrisk installasjon er til å bidra med forbrukerfleksibilitet, nemlig installasjonens effektprofil og teknisk utførelse; hvilken energitjeneste den sørger for (høy- eller lavprioritert); om den har energilagringsevne. Hva som er lavprioritert forbruk varierer mellom ulike bygningstyper og kundegrupper og må vurderes individuelt for hver enkel tilfelle. Energilagringsevne i selve laster og i omgivelser forlenger mulig utkoblingsvarighet, og lagringskapasitet kan økes ved å bruke eksterne energilagre eller økt kapasitet på noen installasjoner. Effektprofil bestemmer om lasten vil være tilgjengelig for utkobling på et gitt tidspunkt. Teknisk utførelse påvirker styresystemets kompleksitet og investeringskostnader.

Gevinst ved utnyttelse av forbrukerfleksibilitet bestemmes av økonomiske ordninger hvor man kan delta i. Det kan skilles ut 3 hovedgrupper av ordninger: markedsbaserte, insentivbaserte og prisbaserte. I Norge finnes det en rekke ordninger som gir insentiv til utnyttelse av forbrukerfleksibilitet, men de fleste er rettet mot større forbrukere. For mindre forbrukere er det aktuelt å bli aggregert for å få tilgang til de samme mulighetene. Det jobbes både i Norge og i verden med å utvikle flere insentiver til å få gevinst ut fra ressurser på sluttbrukersiden.

Ved hjelp av en casestudie gjennomført i Høgskolen i Østfold ble det eksemplifisert hvor mye forbrukerfleksibilitet kan være tilknyttet høgskolebygninger, og hvordan denne fleksibiliteten kan benyttes. Kartlegging av lavprioriterte laster i høgskolebygningene påviste et teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet mellom 1107 – 1600 kW tilgjengelig mellom kl. 7 – 16 i arbeidsdager med undervisning. Størstedelen av potensialet skyldes utkobling av el-kjelene i energisentralen.

Potensiale for forbrukerfleksibilitet i Høgskolen i Østfold

Utkoblingsvarighet	30 min	1 time	langvarig
$T_{ute} = -5^{\circ}\text{C}$	1600 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1492 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1293 kW elkjel erstattes av oljekjel
$T_{ute} = 0^{\circ}\text{C}$	1445 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1337 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1138 kW elkjel erstattes av oljekjel
$T_{ute} = 5^{\circ}\text{C}$	1287 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + frikjøling	1197 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + frikjøling	983 kW elkjel erstattes av oljekjel
$T_{ute} = 10^{\circ}\text{C}$	1215 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + maskinkjøling	1107 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + maskinkjøling	828 kW elkjel erstattes av oljekjel

Det ble funnet ut at allerede i dag finnes muligheter å få gevinst ut av dette potensialet, ved å selge det til system- og balansetjenester via en aggregator, selge det via prisleksible bud i Elspot eller inngå en avtale for uprioritert overføring med det lokale nettselskapet. Det forventes at i fremtiden vil enda flere muligheter dukke opp i forbindelse med nye kraftkontrakter/nettariffer.

Utnyttelse av forbrukerfleksibilitet i høgskolebygningene må vurderes opp mot investeringskostnader i styringsteknologi og driftskostnader (oljekostnader og evt. avsavnsverdi). Andre aspekter må også hensyntas som f.eks. aksept av bygningsbrukere, grønn profil, kompetanse og kjennskap til konseptet, behov for å endre driftsrutiner. Videre arbeid behøves for å tallfeste det realiserbare potensialet for forbrukerfleksibilitet.

Ved oppskalering av estimatene gjort for HiØ for å gjelde alle høgskoler og universiteter med lignende energisystem i Norge, ble det beregnet et samlet potensiale for forbrukerfleksibilitet på ca. 60 MW.

Innhold

Innledning	7
Del 1 Forbrukerfleksibilitet	8
1.1 Begrepsavklaring	8
1.2 Formål med utnyttelse av forbrukerfleksibilitet	9
1.2.1 Håndtering av effektknapphet og energiknapphet	9
1.2.2 Behov for regulerkraft	10
1.3 Estimering av potensiale for forbrukerfleksibilitet i tidligere studier	11
1.3.1 Studier basert på målinger av elektrisitetsforbruk i enkelte bygninger	11
1.3.2 Studier basert på statistikk	13
1.4 Potensiale for forbrukerfleksibilitet som funksjon av ulike parametere	13
Del 2. Elektriske laster i bygninger	15
2.1 Energibruk i ulike bygningskategorier	15
2.1.1 Boligbygg	16
2.1.2 Næringsbygg	17
2.2 Karakterisering av elektriske laster i en bygning med hensyn til forbrukerfleksibilitet	19
2.2.1 Energitjeneste	19
2.2.2 Energilagringsevne	20
2.2.3 Effektprofil	21
2.2.4 Teknisk utførelse	23
2.3 Lavprioriterte laster	24
2.3.1 Varmelaster	24
2.3.1.1 Oppvarming av tappevann	25
2.3.1.2 Romoppvarming	26
2.3.1.3 Snøsmelteanlegg	27
2.3.1.4 Elektriske kjeler	28
2.3.2 Kjølere og frysere	28
2.3.3 Andre lasttyper	29
2.3.3.1 Ventilasjon	29
2.3.3.2 Belysning inne	30
2.3.3.3 Gatelys	31
2.3.3.4 Nødstrømsaggregat	31
Del 3. Implementering av løsninger basert på utnyttelse av forbrukerfleksibilitet	32
3.1 Økonomiske insentiver i Norge	32
3.1.1 Markedsbaserte ordninger	33
3.1.2 Aggregering	33

3.1.3 Insentivbaserte ordninger	34
3.1.4 Prisbaserte ordninger	35
3.2 Internasjonale erfaringer med utnyttelse av forbrukerfleksibilitet	36
3.2.1 Prisbaserte ordninger	36
3.2.2 Insentivbaserte ordninger	37
3.2.3 Markedsbaserte ordninger – roterende reserve	37
3.2.4 Markedsbaserte ordninger – dagen-før krafthandel	38
Del 4. Casestudie – Høgskolen i Østfold, Halden	39
4.1 Metode og data	39
4.2 Generelt om Høgskolen i Østfold	39
4.2.1 Beskrivelse av energisystem	40
4.2.2 Elektrisitetsforbruk	42
4.2.3 Kraftkontrakt og nettleieavtale	42
4.3 Resultater: teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet	43
4.3.1 Elektriske kjeler	43
4.3.2 Ventilasjonsanlegg	44
4.3.3 Belysning	45
4.3.4 Kjølesystem	47
4.3.5 Sirkulasjonspumper	51
4.3.6 Andre installasjoner	51
4.4 Oppsummering av resultater	52
4.5 Usikkerhet	53
4.6 Diskusjon	53
4.6.1 Teknologiske aspekter	54
4.6.2 Økonomiske aspekter	55
4.6.3 Oppsummering for bygningskategori «høgskole/universitet»	58
4.7 Konklusjon og forslag til videre arbeid	59
Referanseliste	60
Vedlegg A. Utprøving av prisbaserte ordninger for forbrukerfleksibilitet i Norge	64
Vedlegg B. Klimadata	65
Vedlegg C. Kart over Høgskolesenteret i Halden	66
Vedlegg D. Oversikt over ventilasjonsanlegg	67
Vedlegg E. Datagrunnlag for beregning av el-kjelenes forbruk	68

Innledning

Konseptet forbrukerfleksibilitet er kjent i kraftbransjen helt siden 1980-tallet og har fått betydelig oppmerksomhet i Norge de siste årene i forbindelse med nye utfordringer som kraftsystemet står foran. Forbrukerfleksibilitet kan utnyttes på mange forskjellige måter og danner dermed grunnlag for en stor variasjon av styringsstrategier og ordninger som kan benyttes i henhold til kraftsystemets behov.

I Norge utnytter man til en viss grad ressurser på sluttbrukersiden, men det er mest kraftintensiv industri som bidrar med forbrukerfleksibilitet. I dag står Norges kraftbransje foran mange utfordringer som behov for å håndtere større mengder uregulerbar energiproduksjon, utilstrekkelig nettkapasitet og forverrelse av frekvenskvalitet. Utnyttelse av forbrukerfleksibilitet til en større grad, blant annet engasjering av mellomstore og små forbrukere, vil gi aktører i kraftbransjen nye verktøy til å håndtere disse utfordringene.

I denne oppgaven vil det undersøkes potensiale for forbrukerfleksibilitet i norske bygninger. Det vil studeres ulike lasttyper som kan utkobles i respons til pris eller systembehov. Kartlegging av lavprioriterte laster og beregning av potensiale for forbrukerfleksibilitet vil eksemplifiseres i en casestudie gjennomført i Høgskolen i Østfold.

Oppgaven består av 4 hoveddeler. Del 1 beskriver konseptet forbrukerfleksibilitet og gir en oversikt over tidligere studier som estimerte forbrukerfleksibilitet i bygninger. Del 2 handler om elektriske laster i ulike bygningstyper, deres egenskaper og forskjellige aspekter av lastutkoblinger. I Del 3 studerer man økonomiske insentiver som gir grunnlag for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet. Del 4 er en casestudie med beregning av potensialet for forbrukerfleksibilitet i Høgskolen i Østfold og drøfting av resultatene.

Del 1 Forbrukerfleksibilitet

1.1 Begrepsavklaring

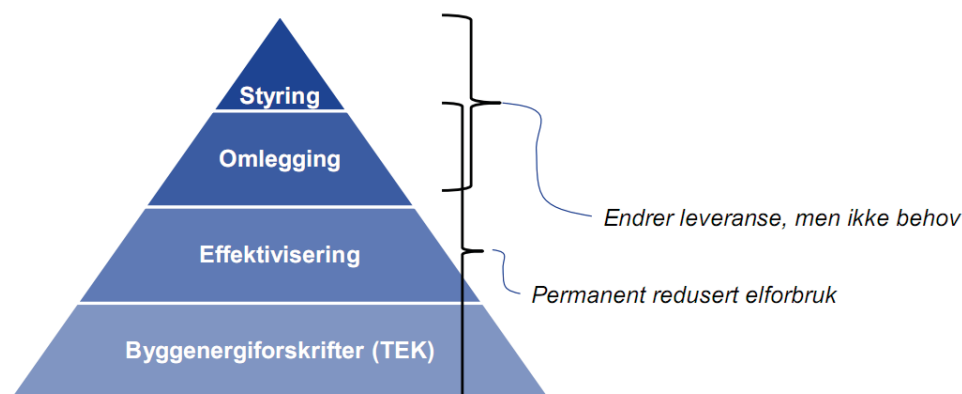
Forbrukerfleksibilitet kan defineres som *en frivillig midlertidig justering av elektrisitetsforbruk som respons til prissignal eller ut fra systembehov* (Nordel, 2006). En annen definisjon legger også vekt på en mulig substitusjon av energibærere: *forbrukerfleksibilitet er forbrukerens evne og vilje til å bytte energibærer eller endre sitt energiforbruk på kort og mellomlang sikt.* (Meland et al., 2006) En viktig aspekt med forbrukerfleksibilitet fremhevet i definisjonene er at dette er en midlertidig forbruksendring. Dette skiller forbrukerfleksibilitet fra et annet konsept – energieffektiviseringstiltak – som gjerne har permanente effekter. (Davito et al., 2010) Tabell 1 illustrerer ulike typer tiltak som inngår i de begge konseptene og omfattes av et felles begrep Demand Side Management.

Tabell 1 Eksempler på to typer DSM-tiltak. Basert på (Lisebø et al., 2011) og (IEA, 2008).

Demand Side Management	
Forbrukerfleksibilitet – midlertidig justering	Energieffektivisering – permanent reduksjon
▲ direkte lastkontroll ▲ respons til prissignal (f.eks. tidsinnstilling, manuell eller automatisk styring) ▲ prisinsentiver (f.eks. utkoblingstariffer, dynamisk prising) ▲ midlertidig omlegging til andre energibærere (f.eks. bruk av olje istedenfor elektrisitet i kjeler, bruk av ved til oppvarming) ▲ midlertidig bruk av distribuerte energiproduksjonsanlegg (f.eks. nødstrømsaggregat)	▲ tiltak for energisparing (f.eks. etterisolering av bygninger, utskifting av vinduer, passive bygninger og lavenergibygninger osv.) ▲ permanent omlegging av hele/deler av forbruket til andre energibærere enn elektrisitet (f.eks. overgang til fjernvarme fra elektrisk oppvarming, bruk av solcellepaneller)

Forbrukerfleksibilitet kan utnyttes på mange forskjellige måter og danner altså grunnlag til ulike ordninger. Forbruksjusteringer kan være kortsiktige eller langsiktige, og kan skje automatisk eller manuelt. Forbrukerrespons kan aktiveres ved hjelp av prissignaler eller etter utkoblingsordre fra DSO eller TSO. Prissignaler kan komme fra spotmarkedet, regulerkraftmarkedet, markedet for system- og balansetjenester eller kan være nedfestet i tariffen. Laster hos kunder kan styres direkte av eksterne aktører som DSO, TSO eller aggregatorer. Alternativt kan kunder gis kontinuerlig informasjon om priser og tilpasse forbruket selv. Det betyr at begrepet forbrukerfleksibilitet omfatter i praksis en stor variasjon av ordninger og styringsstrategier som kan benyttes i henhold til kraftsystemets behov.

Ved estimering av potensiale for forbrukerfleksibilitet i en bygning er det viktig å ta hensyn til energieffektiviseringstiltak. Figur 1 viser en pyramide av tiltaksgrupper. Tiltakene bygger oppå hverandre, og iverksettelse av tiltak på et lavere nivå vil redusere potensiale på et høyere nivå.



Figur 1 Tiltak som sikter på å effektivisere kraftforsyning. (Lisebø et al., 2011)

Styringstiltak og midlertidig omlegging til andre energibærere bør normalt vurderes etter innføring av tiltak for permanent reduksjon av el-forbruk. Hvis det f.eks. planlegges å installere et system for varmegjenvinning i en bygning, vil potensiale for utkobling av oppvarmingslaster reduseres på grunn av lavere oppvarmingsbehov. For å ikke overvurdere potensiale for laststyring og lastreduksjon er det derfor viktig få et helhetlig bilde av bygningens energisystem og ta hensyn til sammenhenger mellom tiltak.

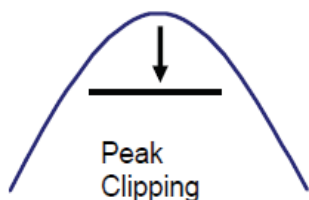
Forbrukerfleksibilitet kan utnyttes på mange forskjellige måter. Forbruksjustering kan være kortsiktig eller mellomlangsigtig, og kan skje automatisk eller manuelt. Forbrukerrespons kan aktiveres ved hjelp av prissignaler eller etter utkoblingsordre fra DSO eller TSO. Prissignaler kan komme fra spotmarkedet, regulerkraftmarkedet, markedet for system- og balansetjenester eller kan være nedfestet i tariffer. Laster hos kunder kan styres direkte av eksterne aktører som DSO, TSO eller aggregatorer. Alternativt kan kunder gis kontinuerlig informasjon om priser og tilpasse forbruket selv. Det betyr at begrepet forbrukerfleksibilitet omfatter i praksis en stor variasjon av ordninger og styringsstrategier som kan benyttes i henhold til kraftsystemets behov.

1.2 Formål med utnyttelse av forbrukerfleksibilitet

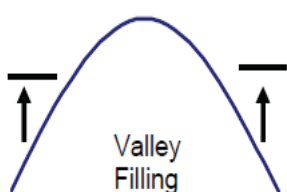
1.2.1 Håndtering av effektknapphet og energiknapphet

På grunn av stor treghet i utbygging av produksjon og økende etterspørsel etter elektrisitet i Norge forventes det at man vil oftere enn før oppleve situasjoner med effekt- og energiknapphet. Effektknapphet kan inntreffe når man i enkelte timer ikke har tilstrekkelig produksjonskapasitet til å dekke opp det faktiske forbruket. Energiknapphet i Norges vannkraftbasert system kan inntreffe når man over tid ikke har tilstrekkelig vann i magasinene til å produsere den energien som forbrukere

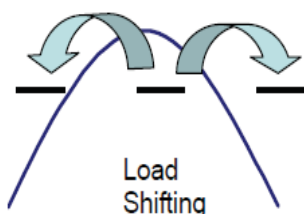
ønsker. Midlertidig justering av elektrisitetsforbruk kan bidra til å håndtere begge typer situasjoner ved å endre utforming av lastkurve og styre lastnivå. 3 prinsipielle måter for å gjøre dette er reduksjon av effekttopper, nytt forbruk i lavlastperioder og lastflytting. (Sæle, 2005)



Reduksjon av effekttopper i korte perioder uten at forbruket flyttes til andre perioder oppnås ved utkobling av f.eks. stand-by effekt, vifter, belysning, pumper o.l. Planlagte systematiske reduksjoner kan bidra til å redusere dimensjonerende effekt i nettet. Momentane reduksjoner etter signal fra balanseansvarlige kan benyttes for å holde forbruk og produksjon i balanse, se punkt 1.2.2



Nytt forbruk i lavlastperioder innebærer at man i disse periodene tar i bruk elektrisitet, f.eks. når man skifter fra olje til elektrisitet ved lave kraftpriser. Nytt forbruk kan også benyttes til systembalansering, f.eks. ved overproduksjon, se punkt 1.2.2.



Lastflytting er et alternativ til lastreduskjon når forbruket uansett må skje men kan flyttes i tid fra topplastperioder. Lastflytting kan f.eks. brukes når man tilpasser sitt forbruk til en tariff med tidsdifferensiering og flytter ikke-kritiske prosesser til natt.

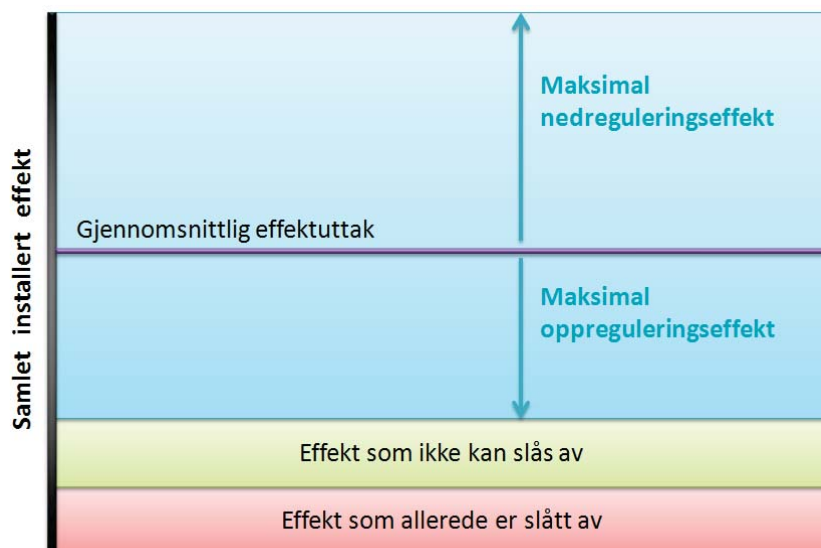
Situasjoner med midlertidig energiknapphet kan håndteres ved hjelp av **målrettet energisparing** som innebærer at man reduserer energiforbruk over lengre tid (døgn, uke, måned) ved f.eks. omlegging til andre energibærere enn elektrisitet. Smart styring av belastninger via sentrale driftssystemer kan også bidra til å redusere energiforbruk i bygninger over en lengre periode.



1.2.2 Behov for regulerkraft

Anskaffelse av regulerkraft vil bli en større utfordring i fremtiden med hensyn til økende innslag av uregulerbar kraftproduksjon og økt kraftutveksling mellom Norge og utlandet. I dag er det først og fremst produksjonssiden og kraftintensiv industri som bidrar med både oppregulerings- og nedreguleringseffekt, men alminnelig forsyning kan også være aktuelt i denne sammenheng.

I Tyskland er det mye fokus på utnyttelse av forbrukerfleksibilitet til både opp- og nedregulering av kraftsystemet. (Stadler, 2007), (Dena, 2010) Ved behov for oppregulering kan man utkoble de elektriske enhetene som er tilgjengelige for dette, se Figur 2. Ved behov for nedregulering kan man slå på alle enhetene med fullt effektuttak.



Figur 2 Prinsippet med utnyttelse av forbrukerfleksibilitet til regulerkraft.
Bearbeidet fra (Stadler, 2007)

1.3 Estimering av potensiale for forbrukerfleksibilitet i tidligere studier

Gjennomgang av ulike studier som tallfester potensiale for forbrukerfleksibilitet i Norge viser at det finnes to prinsipielle tilnærminger:

- estimering av potensiale er basert på målinger av elektrisitetsforbruk i enkelte bygninger, gjerne på applikasjonsnivå, og videre oppskalering av resultater for å gjelde hele landet;
- estimering av potensiale er basert på nasjonal eller lokal statistikk, makroøkonomiske data og generelle antakelser om forbruksmønstre i sektorer/kundegrupper.

1.3.1 Studier basert på målinger av elektrisitetsforbruk i enkelte bygninger

I (Livik, 1997) presenteres det resultater av en detaljert analyse av 68 tjenesteytende bygg tilknyttet 25 adresser. Byggene tilhører kategorier «sykehus», «skole», «kontorbygg». Det ble gjennomført byggbefaringer og tatt effektmålinger på noen elektriske installasjoner. Den regulerbare effekten er i hovedsak framkommet fra formålene romoppvarming, vannvarming, varmekabler, kjølekompressorer og ventilasjon. Den delen av regulerbar effekt som ut fra praktiske hensyn kan reguleres bort utgjør potensiale for effektreduksjon. Resultatene viser en stor variasjon i effektreguleringspotensiale mellom bygninger, også innenfor en og samme kategori, se Tabell 2. Tilstedeværelse av elkjel øker potensialet betydelig.

Tabell 2 En oversikt over potensiale for effektregulering i 68 tjenesteytende bygg lokalisert til 25 adresser. (Livik, 1997)

Byggkategori	Antall bygg	Regulerbar effekt, kW	Potensiale for effektreduksjon	
			kW	W/m ²
Psyk. institusjon m/elkjel	18	1503	1322	61
Psyk. institusjon u/elkjel	5	155	51	5
Kontor u/elkjel	2	129	129	7
Sykehus m/elkjel	1	239	231	118
Sykehus u/elkjel	1	3	1	0
Skole m/elkjel	23	3800	3286	57
Skole u/elkjel	18	2671	1087	28

Befaringene påviste også at kostnadene for regulering økte med byggets alder, og ble påvirket av følgende faktorer:

- om bygget allerede hadde installert sentral driftskontroll
- om sikringskurser var rene kurser
- om potensielle effektlaste allerede hadde installert kontraktorer

En studie av utkoblingspotensiale av varmelaster i boliger og yrkesbygg ble gjennomført av (Hveem & Hanssen, 2000) med fokus på varmtvannsberedere, varmekabler, rom- og ventilasjonsvarme. På bakgrunn av effektmålinger ble det utarbeidet effektprofiler for disse lastene med hensyn til temperatur, fuktighet og andre parametre. Utkoblingspotensiale ble estimert for ulike utkoblingsvarigheter og omgivelsesforhold, se Tabell 3. Potensialet ble først angitt i W/m² for konkrete bygg, og så oppskalert ved hjelp av arealstatistikk for å gjelde hele bygningskategori.

Tabell 3 Oversikt over resultater av studie «Utkoblingspotensiale i boliger og yrkesbygg» (Hveem & Hanssen, 2000)

Lasttype	Kundegruppe	Utkoblingspotensiale	Forhold
Romoppvarming	boliger	1700 MW	T _{ute} = -10 ⁰ C
Varmtvannsberedere	boliger	740 MW	utkobling i 4 timer
Romoppvarming og ventilasjonsvarme	yrkesbygg	1900 MW	T _{ute} = -10 ⁰ C
Varmtvannsberedere	yrkesbygg	76 MW	utkobling i 2 timer
Varmekabler i bakken		100 – 300 MW	dager uten nedbør, T _{ute} = -10 ⁰ C

I en SINTEF-studie (Sæle & Grande, 2010) ble potensiale for forbrukerfleksibilitet i norske boliger estimert ut fra resultater av en pilottest gjennomført hos Malvik Everk. Pilottesten forutsatte fjernstyring av varmtvannsberedere og vannbårne oppvarmingssystemer hos boligkunder, samt bruk av døgnvariabel nettariff med et effektledd som var aktiv mellom kl.8 – 10 og kl. 17 – 19. Pilottesten påviste et potensiale for effektreduksjon i toppplasttimer lik 1 kWh/h per husholdning for kunder med varmtvannsberedere, og lik 2,5 kWh/h per husholdning for kunder med vannbårent oppvarmingssystem. Oppskalert utgjorde potensialet for hele landet ca. 1000 MW hvis bare

halvparten av norske husholdninger aksepterte fjernstyring av sine varmtvannsberedere.

I en pilottest i et kontorbygg (Grande et al., 2008) ble laststyring utført av byggets sentral driftskontrollsystem, og forbrukerrespons ble drevet av en døgnvariabel nettariff med et effektledd avregnet mellom kl. 8 – 11 og kl. 17 – 19. Pilottesten påviste en forbruksreduksjon lik 50 kWh/h i de predefinerte topplasttimene.

1.3.2 Studier basert på statistikk

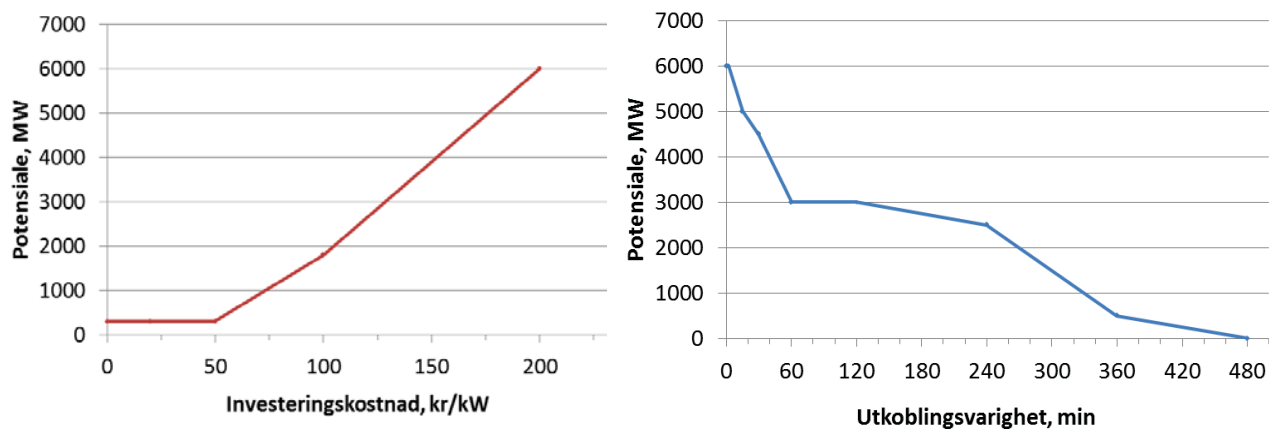
I NVEs rapport (Meland et al., 2006) er potensialet for forbrukerfleksibilitet estimert ut fra volum av elektrisitetsforbruk som kan erstattes med andre energibærere. Studien omfatter kundegrupper husholdninger, næringsbygg og industri. Estimerer er basert på statistikk om energiforbruket fordelt på energibærere, samt generelle antakelser om substitusjonsmuligheter mellom energibærere. Fleksibelt effekt er beregnet med forutsetning om en gjennomsnittlig brukstid på 2000 timer. Det anslås at mellom 2700 – 4000 MW er tilgjengelig fleksibelt i et normalår gjennom substitusjon.

I en analyse av forbrukerfleksibilitet i Oslo og Akershus (Lisebø, 2011) er potensiale estimert på bakgrunn av statistikken om elektrisitetsforbruk fra Hafslund Nett, effektprognoser mot 2020, tenkte formålsdelte lastprofiler for husholdnings- og næringskunder, og kvalitative vurderinger om realiserbarhet. Analysen konkluderer at det tekniske potensialet for lastflytting i Oslo og Akershus ligger på om lag 550 MW.

1.4 Potensiale for forbrukerfleksibilitet som funksjon av ulike parametere

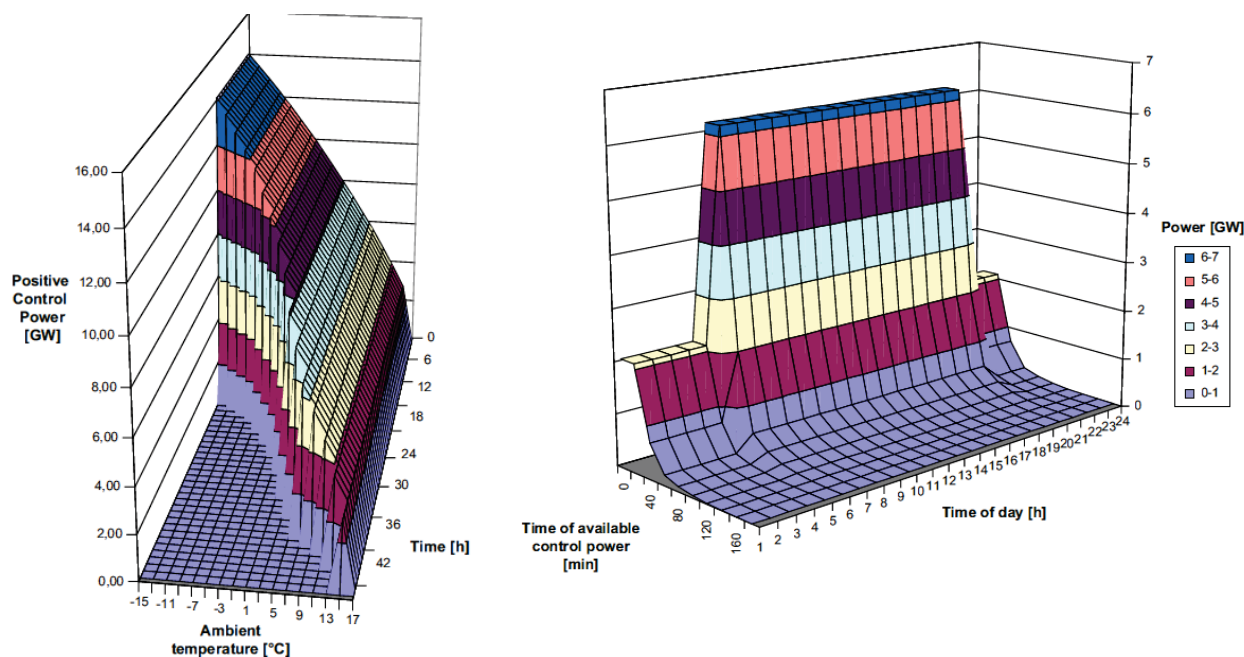
Potensiale for forbrukerfleksibilitet betyr et antall kW på sluttbrukersiden som kan reguleres ut fra informasjon om priser eller ut fra systembehov. Dette antallet er avhengig av ulike faktorer, og som oftest er det knyttet en viss usikkerhet til estimering av hvor mange kW er tilgjengelig hos en konkret kunde på et gitt tidspunkt.

Utkoblingspotensialet er avhengig av ulike faktorer i omgivelsen. I de fleste studier som kartlegger potensialet for forbrukerfleksibilitet presenteres det som en funksjon av utkoblingstid, kostnader og/eller omgivelsestemperatur (for termiske laster). Figur 3 gir eksempler på hvordan utkoblingspotensialet øker sammen med økende investering i tilleggsutstyr og avtar ved stigende utkoblingsvarighet.



Figur 3 Potensiale for tilbakesalg av effekt fra panelovner i Norge som funksjon av investeringskostnad og utkoblingstid (ved utetemperatur -7°C). (Johnsen, 1997)

Figur 4 viser at potensialet kan også presenteres ved hjelp av flerdimensjonale funksjoner som tar hensyn til flere parametere. For et varmelagringsystem angir man f.eks. potensialet for ulike utetemperaturer, og for et ventilasjonssystem – for ulike døgntidspunkter.



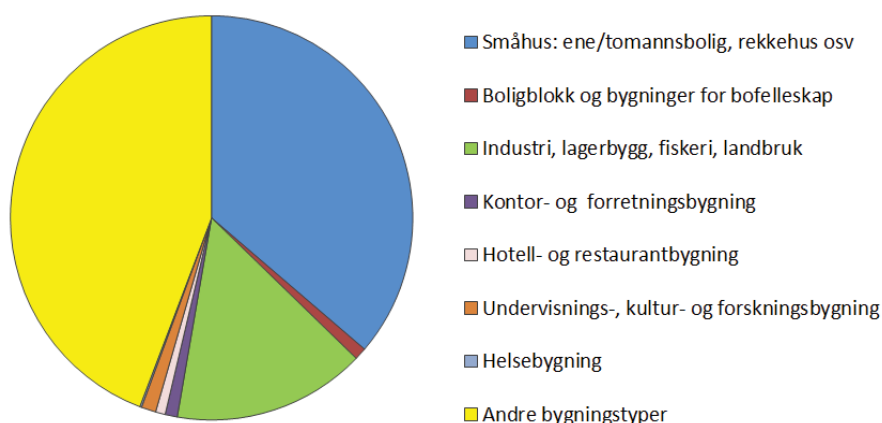
Figur 4 Potensiale for tilbakesalg av effekt fra varmelagringsystemer (til venstre) og ventilasjonssystemer (til høyre) i Tyskland. (Stadler, 2007)

Del 2. Elektriske laster i bygninger

2.1 Energibruk i ulike bygningskategorier

Årlig energiforbruk i Norge utgjør ca. 228 TWh, mens energiforbruk i næringsbygg og husholdninger ligger på henholdsvis 35 TWh/år og 46 TWh/år. (SSB, 2011a), (Enova, 2010) Bygninger står altså for ca. 35% av det totale sluttbruket av energi.

Bygningsmassen i Norge består av om lag 4 millioner bygg. Drøyt en tredjedel av bygningsmassen, nemlig 1,46 millioner bygninger, er boligbygg. Resten av bygningene fordeler seg på ca. 750 tusen næringsbygg og ca. 1,72 millioner andre bygningstyper, se Figur 5.



Figur 5 Bygningsmassen i Norge. Basert på (Abrahamsen, 2008), (Enova, 2010), (SSB, 2011b)

Krav til energibehov til enkelte bygningskategorier er fastsatt av Energirammen i Byggeteknisk forskrift, se Tabell 4. Energibehov til enkelte elektriske installasjoner kan beregnes ut fra standardverdier angitt i NS3031 Beregning av bygningers energiytelse.

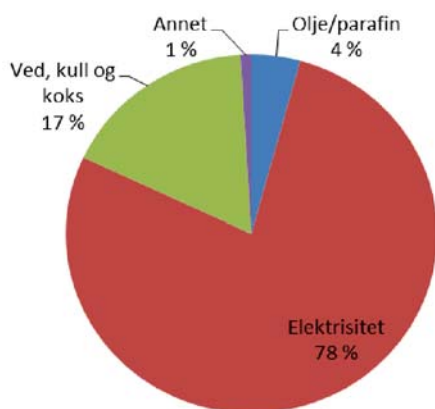
Tabell 4 Energibehov til ulike bygningskategorier

	Energiramme (kWh/m2)
småhus	120 + 1600 m2 oppv BRA
boligblokk	115
barnhage	140
kontorbygning	150
skolebygning	120
universitet/høyskole	160
sykehus	300 (335)
sykehjem	215 (250)
hotell	220
idrettsbygning	170
forretningsbygning	210
kulturbygning	165
lett industri/verksted	175 (190)

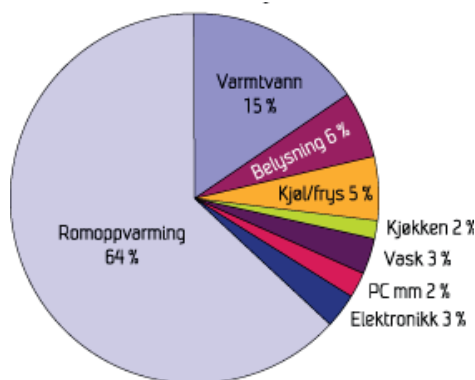
Det må merkes at standardverdiene viser egentlig den minste energimengden som må tilføres bygningen for å opprettholde funksjonalitet og komfort. I praksis vil energiforbruk være høyere på grunn av stor brukermessig påvirkning.

2.1.1 Boligbygg

Fordeling av energibærere som benyttes i husholdninger er vist på Figur 7. Elektrisitet står for størstedelen av forbruk, og andre energibærere, som ved og olje, utgjør mindre andeler. 64% av elektrisiteten går til romoppvarming, 15% går til varmtvann og resterende 21% går til ulike el-spesifikke formål, se Figur 6.

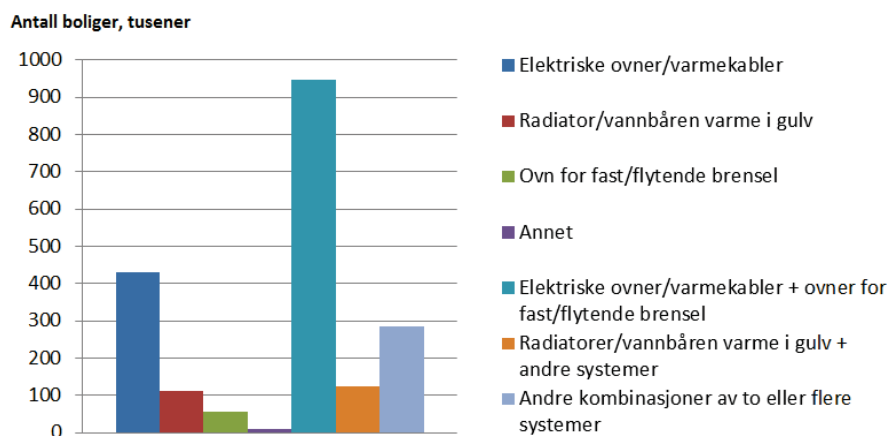


Figur 7 Fordeling av energibærere i norske husholdninger (Abrahamsen, 2008)



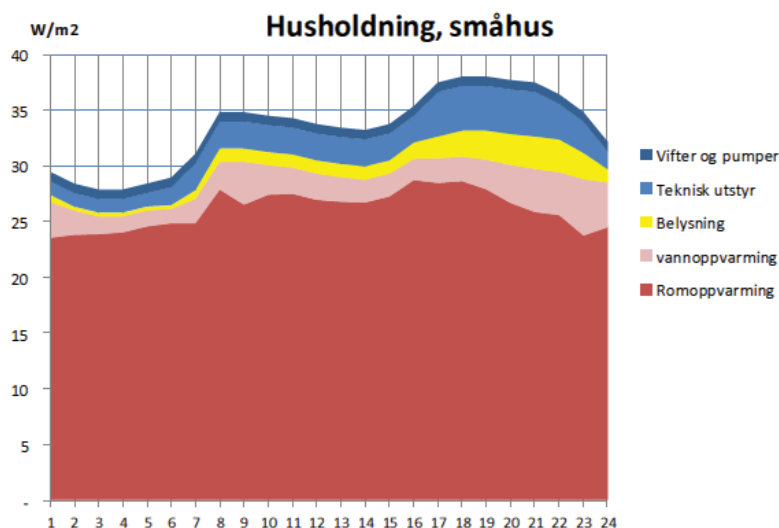
Figur 6 Formålsdelt elektrisitetsforbruk i norske husholdninger (REMODECE, 2008)

Oppvarming ved hjelp av elektriske løsninger er mest typisk i norske boliger, se Figur 8. Cirka 430.000 (30%) av privatboliger har ett elektrisk oppvarmingssystem, basert på varmekabler eller elektriske ovner. I cirka 950.000 (65%) av privatboliger kombinerer man elektrisk oppvarming med ovner for fast/flytende brensel. Den dominerende kombinasjonen er elektrisitet og ved. Man har derfor betydelige muligheter til både styring av elektriske varmelaster og midlertidig omlegging fra elektrisitet til andre brenslar i boligsektoren. (Meland et al., 2006)



Figur 8 Oppvarmingsløsninger i norske privatboliger. Basert på (SSB, 2001)

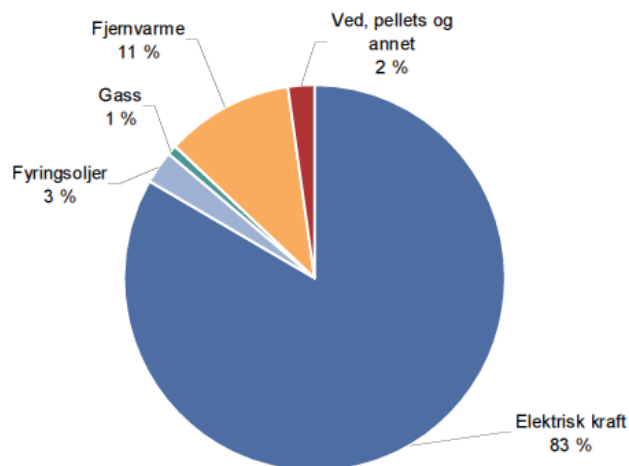
Figur 9 viser en tenkt formålsfordelt lastkurve for husholdninger. Formen på kurven og den relative lastfordelingen over døgnet er ansett til å være representative uansett teknisk byggestandard. (Lisebø, 2011) Effekttopper forekommer typisk rundt kl. 8 og mellom kl. 17 – 20, og midt på dagen faller forbruket litt.



Figur 9 Tenkt formålsfordelt døgprofil til husholdninger (Lisebø, 2011)

2.1.2 Næringsbygg

Næringsbygg omfatter mange bygningskategorier: kontorbygg, forretningsbygg, utdanningsinstitusjoner, barnehager, sykehus, kulturhus, idrettsbygg, hoteller, restauranter mm. Som vist på Figur 10 står elektrisk kraft for størstedelen av energiforbruket i næringsbygg. Fjernvarme står for 11 % av energibruket, mens andre energibærere som fyringsolje, biomasse og gass utgjør mindre andeler. Høgskoler og universiteter er oftere tilknyttet fjernvarme enn andre kategorier næringsbygg. (NVE, 2011)

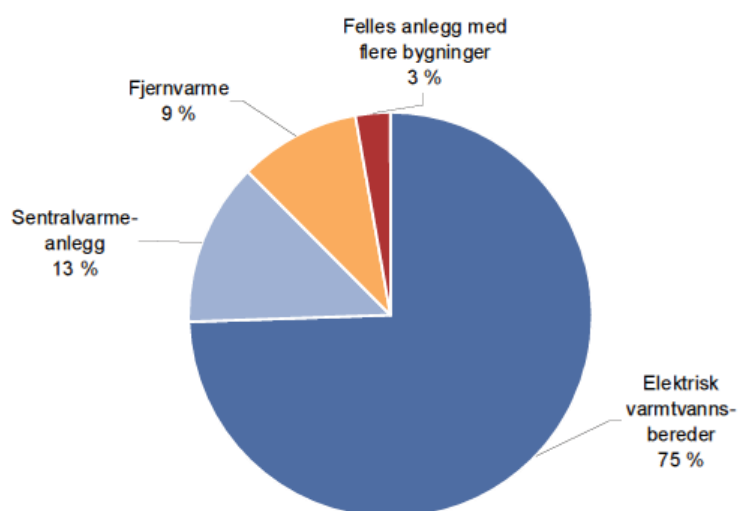


Figur 10 . Samlet energibruk i tjenesteytende sektor fordelt på energibærere (Abrahamsen, 2008).

Drøyt 40 - 50% av bygg innenfor tjenesteytende sektor har et eget sentralvarmeanlegg, og andelen er størst for sykehus. I en spørreundersøkelse rettet mot bedrifter innenfor tjenesteytende sektor og småindustri ble det erfart at, blant dem som har sentralvarmeanlegg, hadde ca. 60% oljekjel, 53% elkjel, 6% biokjel og 3% varmepumpe. (NVE, 2003)

Panelovner og elektriske gulvkabler står for nesten all punktoppvarming. Rundt 80 % av bygninger innenfor tjenesteytende sektor bruker panelovner og rundt en tredel av byggene bruker elektriske gulvkabler. Bare et lite antall bygninger bruker olje-/parafinkamin og pellets-kamin. (Abrahamsen, 2008)

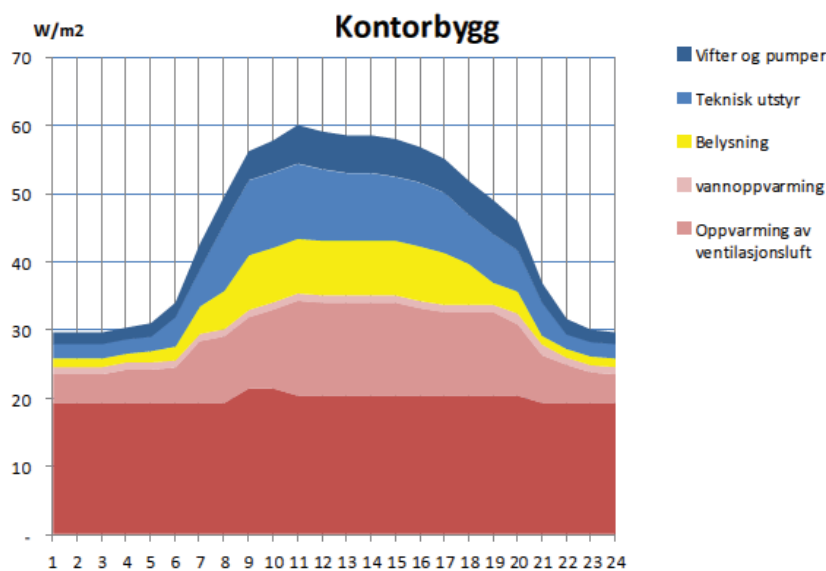
Figur 11 viser at de fleste bygninger innenfor tjenesteytende sektor har installert varmtvannsbereidere for oppvarming av tappevann. I resten av bygninger oppvarmes vann i sentralvarmeanlegg eller blir distribuert gjennom fjernvarmenett.



Figur 11 Oppvarming av tappevann i tjenesteytende bygg (Abrahamsen, 2008)

I 15% av bygninger innenfor tjenesteytende sektor (fra studiets utvalg på 4471 bygninger) ble det rapportert energikrevende elektriske installasjoner som datarom, kjøledisk og frysedisk, kjølerom og kjølelager. (Abrahamsen, 2008)

Normalt ligger effektuttak i næringsbygg stabilt høyt i løpet av hele arbeidsdagen, se Figur 12. Effekttoppen inntreffer senere enn for boliger, rundt kl. 11. Mer energi går til belysning og teknisk utstyr.



Figur 12 Tenkt formålsdelt døgnprofil til næringsbygg (Lisebø, 2011)

2.2 Karakterisering av elektriske laster i en bygning med hensyn til forbrukerfleksibilitet

Om en elektrisk last har evne til å bidra med forbrukerfleksibilitet bestemmes av lastens egenskaper. De viktigste egenskapene i denne sammenheng er:

- energitjeneste;
- energilagringsevne;
- effektprofil;
- teknisk utførelse. (Alvarez et al. 2003)

2.2.1 Energitjeneste

Det er i prinsippet færre tjenester enn energibærere, og man kan ofte bytte om energibærere uten å påvirke selve energitjenesten. Elektrisitet er en høyverdig energibærer fordi den kan benyttes til flere formål enn mange andre energibærere.

Energitjenester er avhengig av type virksomhet og aktiviteter som finner sted i bygget. Noen aktiviteter er kritiske for virksomheten mens andre kan unnværes i perioder. Alle elektriske laster i en bygning kan inndeles i to grupper: høyprioritert og lavprioritert last, se Figur 13. Lavprioritert forbruk er den som en kunde kan unnvære i en begrenset periode uten store ulemper for

virksomheten. Høyprioritert forbruk er kritisk for virksomheten og kan ikke utkobles. Figur 13 viser også at det ofte finnes energieffektiviseringspotensiale innenfor hver gruppe.



Figur 13 Lastfordeling i en bygning

Hva som er lavprioritert forbruk varierer mellom ulike bygningstyper og kundegrupper. Det som en kunde vurderer som lavprioritert forbruk, vurderes som prioritert forbruk hos en annen kunde. For eksempel, skoler og laboratorier vil ha strengere krav til ventilasjon enn andre virksomheter; kontorbygg har spesielle forskrifter angående belysning; noen bedrifter har lagringskapasitet og mulighet til å stanse industriprosesser mens andre ikke. Derfor må man se på individuelle muligheter hos hver enkel kunde. (Sæle, 2005)

2.2.2 Energilagringsevne

En viktig faktor er lastens kapasitet til å lagre energi, f.eks. i elektrisk form, termisk form eller i form av hydrogen. Energilagringsevne kan være en iboende egenskap hos termisk trege laster eller laster med batterier. Bruk av is i frysere og bruk av keramiske fliser i gulvoppvarming er eksempler på en slik iboende lagringskapasitet. Samtidig skjer det også ekstern energilagring i omgivelser – luft, vegger, møbler osv. har en viss energilagringsevne. Energilagringsevne er direkte knyttet til utkoblingsvarighet.

Det er blant annet materialers varmekapasitet som bestemmer hvor lenge en enhet kan være utkoblet uten at temperaturfall blir kritisk. Tabell 5 gir en oversikt over veiledende varmekapasiteter for ulike stoffer, samt indikerer lasttyper som inneholder/er i kontakt med disse stoffene.

Tabell 5Veiledende varmekapasiteter til ulike stoffer og typer varmelaster hvor de benyttes.

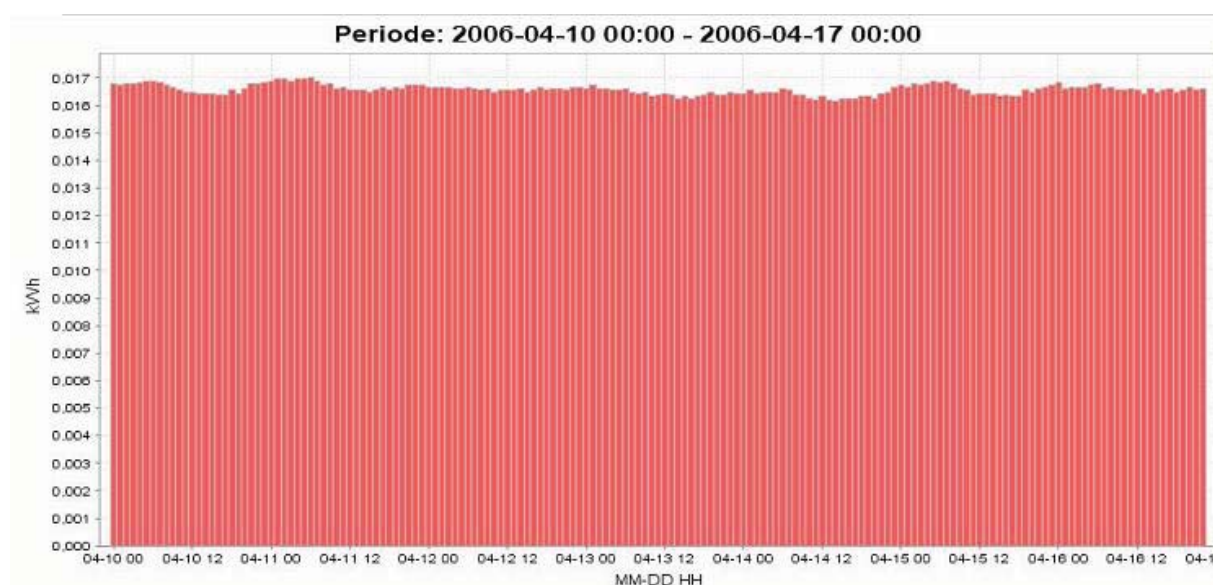
Stoff	Spesifikk varmekapasitet kJ/(kg*K)	Aktuelt for termiske laster
Vann (ved 65°C)	4,185	varmtvannsbereder
Is	2,1	fryser
PCM ¹ (organsk/uorgansk)	2	termisk energilager
Luft	1	romoppvarming
Betong	0,92	varmekabler i betongflater
Naturstein (granitt)	0,79	varmekabler i flisgulv

Som det fremgår av Tabell 5, er det vann som har størst energilagringsevne og er tregeest til å avgi varmen. Luft og betong mister varmen nesten 4 ganger forttere enn vann.

Bruk av tilleggsutstyr for energilagring kan øke fleksibiliteten betydelig. F.eks i Tyskland bruker man mye termiske energilagere (nigh storage heaters) for å utjevne døgnvarisjoner i elektrisitetsforbruk. (Lisebø et al., 2011) Bevisst overdimensjonering av energilagringskapasitet kan også øke fleksibiliteten, og kan være aktuelt under betingelse at tilleggsutgifter kompenseres av økt gevinst. Man kan f.eks. installere en varmtvannsbereder med større kapasitet for å benytte den som energilager og forlenge utkoblingsvarighet.

2.2.3 Effektprofil

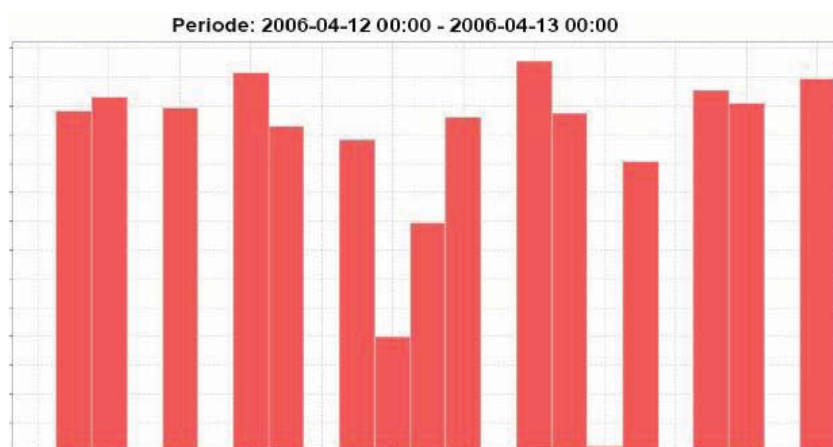
Effektprofil viser hvordan lasten oppfører seg under effektuttak. Effektprofil kan være diskre eller kontinuerlig. Eksempler på elektriske enheter som har kontinuerlig strømforbruk under levering av energitjenesten er lyspærer, PCer og ventilasjon. Figur 14 viser effektuttak av en avtrekksvifte på 15 kW i en bygning med konstant ventilasjon.



Figur 14 Energiforbruket til avtrekksviften på Høgskolen i Telemark (Haug et al., 2006)

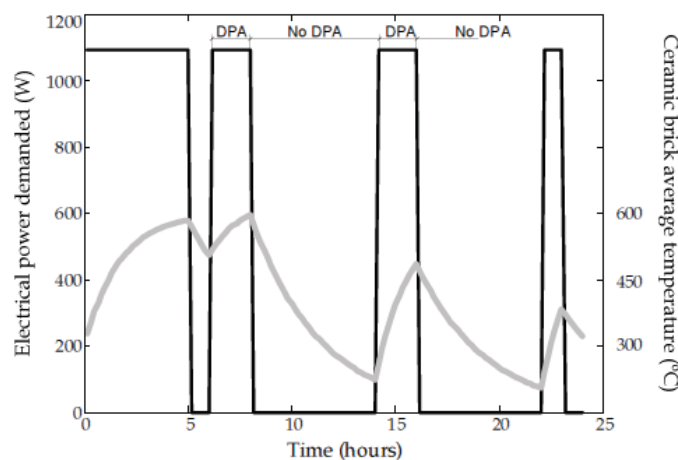
¹ Phase Change Materials

Figur 15 viser eksemplet på en diskre lastprofil som innebærer periodevis inn- og utkoblinger. Diskre profiler er typiske for termiske installasjoner som varmtvannsberedere, varmekabler, panelovner, fryser, kjølere o.l. som styres av en termostat.



Figur 15 Effektuttak av en 3 kW varmtvannsbereder i løpet av et døgn, med et relativt lavt varmtvannsforbruk. (Haug et al., 2006)

På grunn av uregelmessig effektuttak er slike laster utilgjengelig for utkobling i noen perioder, se Figur 16. En mulighet er å tidsstyre inn- og utkoblinger av flere belastninger slik at de ikke inntreffer samtidig men er distribuert i tiden, og dermed få en lastreduksjon på et aggregert nivå.



Figur 16 Effektuttak av en varmelagringsenhet, og tilgjengelighet for laststyring. DPA: Demand Participation Available. (Alvarez et al. 2003)

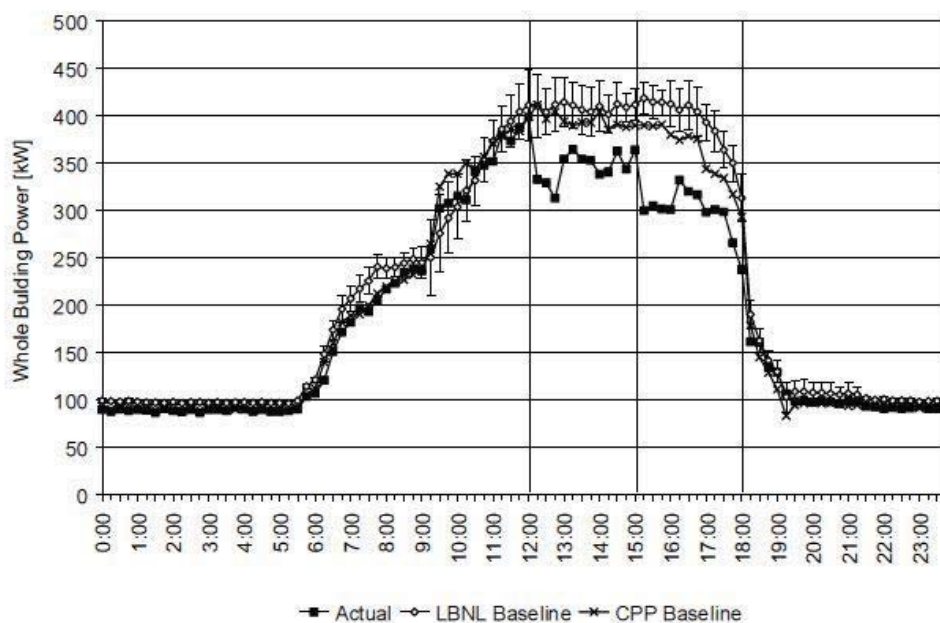
Kjennskap om effektprofiler er grunnleggende for å forutsi effekter av kontrollhandlinger. Effektprofiler kan lages på basis av langvarige effektmålinger, eller utarbeides ut fra momentane effektmålinger og teoretiske anslag om bruksmønstre. En aggregert effektprofil for en bygning innebærer at man slår sammen enkelte effektprofiler for elektriske installasjoner. En aktuell problemstilling i denne sammenheng er å estimere samtidighetsfaktor for ulike belastninger i et bygg.

2.2.4 Teknisk utførelse

Teknisk utførelse bestemmer investeringsutgifter. Kommunikasjons- og styringsmekanismer må være tilpasset styringsregime (automatisk, manuell, fjernstyring), tidsoppløsning av styringen (sekundnivå eller minuttnivå) og mange andre parametre som bestemmes av hvordan forbrukerfleksibiliteten vil utnyttes. En last kan utkobles helt eller delvis, f.eks. i flere trinn.

Noen laster kan styres via separate sikringskurser, mens andre er tilknyttet felles kurser og behøver derfor å ha styringsenheter på apparatnivå. I en studie av 68 tjenesteytende bygg i Norge påviste man at elektriske installasjoner er stort sett lite tilpasset et behov med «rene» kurser til formål for laststyring. (Livik, 1997) Særlig i eldre bygg er det ofte dårlig tilrettelagt for noen form for laststyring. I mange næringsbygg har man imidlertid sentrale driftskontrollanlegg (SD) som allerede har innebygde laststyringsfunksjoner.

En mulig strategi for lastreduksjon i et bygg, som ikke krever å installere et komplisert styringssystem, er å senke eller øke temperaturens settpunkt. I en pilottest gjennomført i et kontorbygg i California, USA, oppnådde man en 20% reduksjon av byggets totale elektriske last ved å øke sonetemperaturer fra 23 til 24^o C i løpet av tre første timer og fra 24 til 25^o C i løpet av neste 3 timer, se Figur 17. Lastreduksjonen skyldtes redusert drift av systemer for luftkjøling.



Figur 17 Elektrisitetsforbruk i hht referansescenario vs. aktuelt elektrisitetsforbruk ved økning av temperaturens settpunkt. Pilottest i en kontorbygning på ca. 12,000 m² i California. (Piette et al., 2006)

2.3 Lavprioriterte laster

Tabell 6 gir en oversikt over ulike kategorier lavprioritert forbruk som har potensiale til å bidra til håndtering av situasjoner med effekt- og energiknapphet.

Tabell 6 Lavprioritert forbruk som kan benyttes til ulike kraftsytemets behov. (Sæle, 2005)

Typer lavprioritert elektrisitetsforbruk	Effektknapphet		Energiknapphet
	Lastflytting (Load shifting)	Lastreduksjon (Peak clipping)	Måltrettet energisparing (Strategic conservation)
Romoppvarming	+		+
Oppvarming av tappevann	+		
Gulvvarme (varmekabler)	+		
Snøsmelteanlegg	+		(+)
Varme/kjøleanlegg	+		
Ventilasjon	+	+	(+)
Gatelys		+	
Belysning inne		(+)	+
Nødstrømsaggregat		+	(+)
Frysere/kjøling	+		
Elkjeler m/brenselfyrt reserve	+	+	+

Varmelaster som romoppvarming, varmtvannsberedere, varmekabler innendørs og utendørs, frysere og kjølere viser seg til å være velegnet til flytting av last fra toptimer til andre timer fordi energien som tapes ved utkobling vil imidlertid tas igjen etter innkobling (gjeninnkoblingseffekt). De bidrar dermed primært til reduksjon av effektuttak. Utkobling av belysning, ventilasjon og nødstrømsaggregater medfører ikke gjeninnkoblingseffekten og bidrar til en ren reduksjon av momentant effektuttak.

Måltrettet energisparing kan i de fleste tilfeller oppnås hvis elektriske installasjoner er tilknyttet et sentraldriftssystem som rullerer utkoblinger med hensyn til ulike forhold og optimaliserer det samlede elektrisitetsbruk.

Midlertidig omlegging fra elektrisitet til andre energibærere, som i tilfelle med el-kjeler med brenselfyrt reserve, gir den største fleksibiliteten og kan brukes i forbindelse med alle formål.

2.3.1 Varmelaster

Ifølge SINTEF er det termiske formål som har betydelig størst potensial for laststyring i Norge, altså styring av varmtvannsberedere, varmekabler og varmeovner og el-kjeler. (Grande et al., 2008)

Hvis utkoblingen av en varmelast skal gjennomføres til forhåndsdefinerte tidspunkt eller hvis kunden har fått prisinsentiver til å redusere sitt forbruk i definerte perioder, kan temperaturen på en

varmelast økes i forkant av utkobling, noe som muligens kan øke varigheten av utkoblingen. (Sæle, 2005)

Potensiale for utkobling av varmelaster, samt størrelse på gjeninnkoblingseffekt er i stor grad avhengig av utkoblingsvarighet og temperatur. Det er derfor vanlig å presentere potensialet som en funksjon av tid eller utetemperatur. (Hveem & Hansson, 2000) Denne funksjonen bestemmes av energilagringsevne hos hver enkel elektrisk installasjon, sluttbrukers ønsket komfortnivå og byggetekniske forhold.

Gjeninnkoblingseffekt er en viktig parameter som bør hensynstas ved vurdering av lastflytting. Aggregering av gjeninnkoblingstopper kan skape nye lasttopper rett utenfor de gamle toppplastperioder. Dette vil i stor grad begrense utkoblingspotensialet med mindre man tar i egnede teknologiske løsninger for forsinket innkobling. (Sæle, 2005) Det er blitt gjort en del undersøkelser på hvor lenge varmelasten må ligge inne igjen etter en utkobling før energibruken har stabilisert seg. Studiene viser at tiden er i stor grad avhengig av installert varmeeffekt i sonen og type termostat. (Hveem & Hansson, 2000)

2.3.1.1 Oppvarming av tappevann

Varmtvannsberedere er termisk trege laster, og vann er et godt energilager, derfor representerer oppvarming av tappevann et stort potensiale for laststyring. Sammenligning av estimer fra ulike studier er vist i Tabell 7.

Tabell 7 Utkoblingspotensiale til varmtvannsberedere

Potensiale	Avgrensning	Referanse
350 MW	Oslo område, boliger	(Ref. i Lisebø et al., 2011)
740 MW	Norge, boliger	(Hveem & Hansson, 2000)
76 MW	Norge, yrkesbygg	(Hveem & Hansson, 2000)
1000 MW	Norge, boliger	(Sæle & Grande, 2011)

I de fleste husholdninger brukes elektriske varmtvannsberedere, typisk med 150 – 200 liters tanker og 1,5 – 2 kW varmeelement. I næringsbygg brukes store varmtvannsberedere med installert effekt 15 – 60 kW. Hvis næringsbygg er knyttet sentralvarmeanlegg, skjer vannoppvarmingen der. (Hveem & Hansson, 2000) (Johnsen, 1997)

Størrelsen på gjeninnkoblingseffekten er avhengig av temperaturfall i varmtvannsberederen som i sin tur er delvis avhengig av hvor mye vann tapes fra den. Figur 18 viser temperaturfall ved prøveutkobling av en 3 kW varmtvannsbereder mellom kl. 7 – 11. Økt vannforbruk etter 5-te time medførte betydelig temperaturfall som i sin tur medførte et gjeninnkoblingseffekt ca. 12 ganger høyere enn det vanlige effektuttaket. (Haug et al, 2006).

Klokkeslett	Vanntemperatur
07.00	65 °C
08.00	65 °C
09.00	62 °C
10.00	54 °C
11.00	27 °C

Figur 18 Temperaturfall i varmtvannsbereder på HiT (Haug et al., 2006)

Hvis flere varmtvannsberedere kobles ut samtidig kan aggregering av gjeninnkoblingstopper føre til dannelse av nye lasttopper etter utkoblingsperioder. For å unngå dette kan man anvende smarte kontrollstrategier, f.eks. en algoritme som heter «prioritized random function», se (Moreau, 2011).

2.3.1.2 Romoppvarming

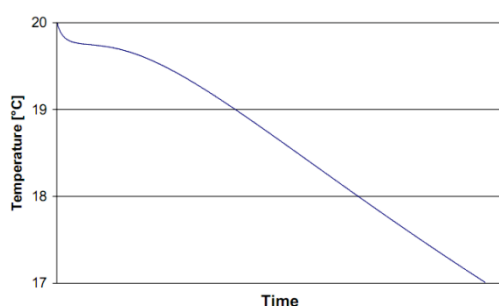
Romoppvarming i de fleste norske boliger skjer via elektriske panelovner. I næringsbygg har man ofte et vannbårent system som er tilknyttet en egen energisentral eller et fjernvarmeanlegg, samt oppvarming av ventilasjonsluft. Punktoppvarming via elektriske panelovner er mer sjelden i næringsbygg. Potensiale for forbrukerfleksibilitet innenfor romoppvarming er estimert i Tabell 8.

Tabell 8 Utkoblingspotensiale til romoppvarming

Potensiale	Avgrensning	Referanse
1700 MW	Norge, boliger, $T_{ute} = -10\text{ °C}$	(Hveem & Hansson, 2000)
1900 MW	Norge, yrkesbygg, rom og ventilasjonsvarme, $T_{ute} = -10\text{ °C}$	(Hveem & Hansson, 2000)

Hvor lenge romoppvarming kan ligge ute bestemmes av flere faktorer:

- bygningstekniske forhold – byggematerialer, antall vinduer, orientering, varmeisolasjon;
- utetemperatur;
- varmestråling fra elektrisk utstyr og antall personer i rommet, samt varmekapasitet av møbler osv.



Figur 19 Temperaturfall i rommet etter utkobling av oppvarming (Ref. i Stadler, 2007)

Figur 19 Temperaturfall i rommet etter utkobling av oppvarming viser temperaturfall i et rom etter at oppvarmingen er slått av, når utetemperatur er 0°C . Først faller temperaturen meget fort på grunn av lavere temperatur i vegger, så stabiliserer temperaturen seg og holder konstant i en periode (opp til timer avhengig av varmeisolasjon og veggkonstruksjon). Etterpå fortsetter temperaturen å falle.

En studie om effekter av temperatursenking i et kontorbygg har funnet ut at en temperaturendring på $\pm 0,5^{\circ}\text{C}/\text{time}$ som skjer over 3 timer vil oppdages av kontorbrukere men vil høyst sannsynlig bli akseptert. En raskere endring av den komfortable temperaturen (f.eks. $\pm 0,3^{\circ}\text{C}/\text{min}$) kan forbli uoppdaget. (Newsham et al., 2006)

Varmelagringssystemer (storage heating systems) kan brukes for å flytte elektrisitetsforbruk til oppvarming fra perioder med høyt forbruk og høye priser til andre perioder, f.eks. til natta. Et varmelagringssystem består av en kjerne med høy spesifikk varmekapasitet (e.g. betong, stein, vann, PCM) og varmeisolasjon rundt den. Prinsippet med varmelagringssystemet er at billig elektrisitet brukes for å lade kjernen, dvs. øke kjernens temperatur, og så brukes denne varmen til romoppvarming for å spare elektrisitet i perioder med høyt forbruk. (Arteconi et al., 2012) varmelagringssystemer benyttes mye i Tyskland hvor man har betydelig prisdifferanse mellom dag og natt. (Stadler, 2007)

2.3.1.3 Snøsmelteanlegg

Snøsmelteanlegg omfatter alle typer varmekabler og varmeelementer som har til formål å smelte is og snø, installert både ute i bakken, på takrenner og i nedløp. Formålet med dem er å fjerne is og snø, og det er typisk å montere fukt- eller temperaturfølere for å styre varmekablene ut fra værforhold. Normalt ligger varmekabler inne ved utetemperaturer mellom -5 og $+5^{\circ}\text{C}$ fordi det er ved disse temperaturene at nedbør fryser og det blir glatt.

Varmekabler i bakken er termisk trege laster og egner seg godt til utkobling fordi bakken vil holde på varmen en stund. Vanlig installert effekt er $150 - 250\text{ W/m}$. Varmekabler i takrenner og nedløp mister varmen forttere og er ikke like velegnet til utkobling. Installerte effekter i en del takrenner og nedløp ligger på $10 - 100\text{ kW}$. (Johnsen, 1997)

Ifølge (Johnsen, 1997) og (Hveem & Hansson, 2000) er det ofte mangler og feil ved styringssystemer for varmekabler, delvis på grunn av at slike anlegg er svært værutsatt, delvis på grunn av dårlige styringssystemer. Det er altså knyttet et betydelig energieffektiviseringspotensial til styring av varmekabler.

Tabell 9 viser antatt utkoblingspotensiale til varmekabler i bakken i Norge. Ifølge (Hveem & Hansson, 2000) skyldes bare en del av dette potensialet opprettholdelse av bakketemperatur. En betydelig andel skyldes imidlertid dårlig styring av anleggene.

Tabell 9 Utkoblingspotensiale til varmekabler

Potensiale	Avgrensning	Referanse
350 MW	Norge, yrkesbygg, dager uten nedbør, $T_{ute} < -10^{\circ}\text{C}$	(Hveem & Hansson, 2000)
245 MW	Norge, yrkesbygg, dager uten nedbør, $-5^{\circ}\text{C} > T_{ute} > -10^{\circ}\text{C}$	(Hveem & Hansson, 2000)

2.3.1.4 Elektriske kjeler

Kombinasjon av el-kjel og oljekjel er et sentralt element i energisystemets fleksibilitet fordi el-kjelen kan legges ut i uendelig tid.. Det antas at maksimalt forbruk i el-kjeler som har brenselfyrt reserve er om lag 10 TWh pr. år. (NVE, 2003) Imidlertid vil den politiske målsettingen om utfasing av oljekjeler begrense utkoblingspotensialet.

De mest vanlige elektriske kjeler i allmenn forsyning er elementkjeler og elektrodekjeler. Elementkjeler er som oftest lavspente kjeler, og de egner seg godt til styring og reagerer raskt, i området tiendedels sekund. De fleste høyspente kjeler er elektrodekjeler, og de har en tregere regulering, i størrelsesorden sekunder. El-kjelene kan trines opp eller ned for å utnytte det som er av ledig effekt til enhver tid. (Johnsen, 1997)

Fleksibiliteten tilknyttet elektriske kjeler utnyttes i dag via en ordning om uprioritert overføring, eller så kalte «utkoblbare tariffer». Nettselskapet kan når som helst og uten nærmere begrunnelse effektivt utkoble anlegg med utkoblbar overføring. Herunder ligger utkoblinger som følge av utkoblingsordre fra Statnett og regionalnettere. Disse tariffene brukes mest innenfor tjenesteytende sektor og fjernvarme. (Lisebø et al., 2011)

2.3.2 Kjølere og fryser

Kjøling og frysing er viktige prosesser for mange virksomheter. Med hensyn til formål kan kjølesystemer deles inn i 3 hovedgrupper:

- varelagring
- prosesskjøling
- luftkjøling (Grein & Pehnt, 2011)

I Skandinavia er luftkjøling mindre aktuelt i forbindelse med lastutkoblinger enn f.eks. oppvarmingsformål. Kjøling og frysing av varer og prosesskjøling representerer imidlertid et visst utkoblingspotensiale.

Kjølere og fryser betraktes som termisk trege belastninger. Studier av kjølesystemer viser imidlertid at det ikke er selve kjøleren som lagrer energi men de varene kjøleren er fylt med som har betydelig energilagringsskapasitet. (Ref. i Stadler, 2007)

Det er stor interesse for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet innenfor kjøling og frysing i Tyskland og i USA. I en tysk undersøkelse (Stadler, 2007) ble det funnet ut at betydelig effekt kunne frigjøres

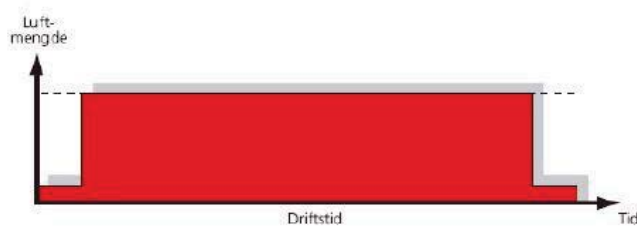
ved utkobling av fryser og kjøleskaper i husholdninger i opp til 9 timer; utkobling av kjøl og frys i matbutikker var mulig i kortere perioder, ca. 2 – 4 timer.

2.3.3 Andre lasttyper

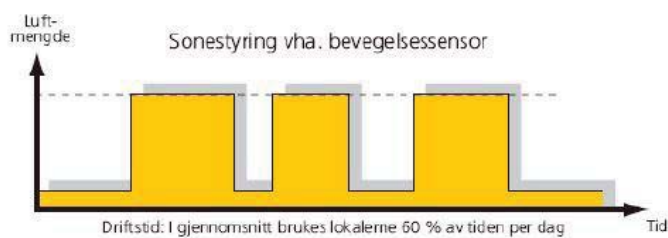
2.3.3.1 Ventilasjon

For mange bygninger kan ventilasjonsanlegg kobles til halv fart eller stanses helt for kortere perioder og dermed frigjøre effekt. Ventilasjonsanlegg har i utgangspunkt ingen lagringskapasitet, men luft kan i prinsippet betraktes som et lagringsmedium hvor luftkvalitet fungerer som en lagringsindikator. Når ventilasjonsanlegg står på, «lades» luften til den har god kvalitet, og etter ventilasjonsstans beholdes kvaliteten over en viss periode. Når luftkvaliteten synker under en fastsatt grense startes ventilasjonsanlegget igjen. (Stadler, 2007)

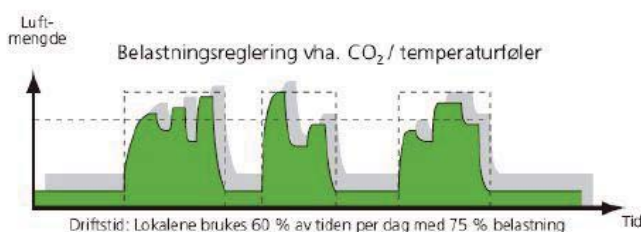
Utkoblingspotensiale for ventilasjonsanlegg er i stor grad avhengig av type styringssystem. I næringsbygg benyttes normalt en av de 3 styringsregimer for luftventilasjon, med tilsvarende varierende belastningskurver:



Konstant ventilasjon – CAV:
samme luftmengde sirkulerer i bygg i lønet av driftstid



Behovsstyrt ventilasjon (VAV):
luftmengde styres av bevegelsessensorer



Avansert behovsstyrt ventilasjon (DCV): luftmengde styres i hht. konsentrasjon av CO₂ og/eller

Ifølge (Stadler, 2007) ligger den optimale utkoblingsvarighet for ventilasjonsanlegg mellom 20-30 min, mens lengre utkoblinger kan påvirke luftkvaliteten i altfor stor grad. Også tester gjennomført i California (Eto, 2007) har påvist at repeterende reduksjoner av ventilasjonsbelastninger med varighet mellom 5-20 minutter ikke merkes av sluttbrukere.

Ventilasjonsanlegg kan brukes som roterende reserve til primærregulering, og dette kan eventuelt være et bedre alternativ for sluttbrukere enn varige utkoblinger av anleggene. Utnyttelse av ventilasjon til roterende reserve har dessuten sine fordeler sammenlignet med utnyttelse av generatorer til samme formål: når respons er distribuert over tusenvis av mindre uavhengige enheter vil utfall av en enhet ikke påvirke driftssikkerhet av kraftsystemet. Utfall av en stor generator vil i motsetning være en alvorlig hendelse i kraftsystemet. (Eto, 2007)

Det er viktig å påpeke at i Arbeidstilsynets veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen slås det fast at driftsstans ikke skal skje hvis det fører til plager hos brukerne. (Arbeidstilsynet, 2006) Krav til luftkvalitet, og dermed utkoblingsmuligheter til ventilasjonsanlegg, vil variere mellom bygningskategorier, og vil ofte være strengere i undervisningsbygg og bygg hvor man driver med luftforurensende virksomheter, f.eks. laboratorier. (Sæle, 2005)

2.3.3.2 Belysning inne

Ifølge en studie av kontorbelysning (Newsham et al., 2006) vil demping av normal skrivebords belysning (~500 lx) med 20% ikke oppdages av kontorbrukere uavhengig av hvor fort dempingen skjer. Reduksjon av normal belysning med opptil 50% vil ikke oppdages hvis reduksjonen skjer sakte (< 10 lx/min). Dagslys vil være med på å maskere endringer i belysningsstyrke. Studien påviste også en større aksept av lysdimming hvis kontorbrukere:

- er informert om at demping er et viktig tiltak for energisparing;
- vet ikke at demping vil finne sted;
- har personlig kontroll over belysning.

Nedenfor presenteres en rekke strategier for belysningsstyring i en bygning (Piette et al., 2006):

- sonespesifikk utkobling – innebærer at lys slås av i områder hvor dagslys er tilgjengelig. Dette kan benyttes for felles arealer som korridorer, haller, kantiner osv., men kan være dårlig egnet for kontorer.
- stegvis dimming – kan være basert på en fast tidsplan eller skje ved hjelp av dagslyssensorer. Det er typisk å ha to steg: 50% og 100% dimming. Hvis mer fleksibilitet behøves, er tre steg også mulig.
- kontinuerlig dimming – basert på en tidsplan eller mengde dagslys, kan belysning dempes gradvis: fra 100% til 10% for fluorescerende lys; fra 100% til 50% for HID lys (high-intensity discharge). Foreløpig er denne type lysstyring knyttet til betydelige investeringskostnader.

Det er viktig å påpeke at belysningsstyring i et bygg kan anses som både energieffektiviseringstiltak

og en del av forbrukerrespons. Hvis et styringssystem er innstilt for å minimere energibruk til belysning, vil det redusere potensiale for å utnytte belysning til forbrukerrespons i bestemte tidspunkter.

2.3.3.3 Gatelys

Gatelys kan fungere som effektreserve så lenge de er på, noe som er mest aktuelt morgen og kveld i perioden desember – januar. Det anses som fullt mulig å slå av gatelysene en time tidligere enn normalt om morgenen og slå på lysene en time senere enn normalt om kvelden. Styring kan gjennomføres ved bruk av tidsstyring eller ved fotoceller. Den siste optimerer energibruken i forhold til belysningsbehov. Bruk av gatelys er koblet til trafikksikkerhet og det er derfor behov for tillatelse fra politiet for å gjennomføre utkoblinger. (Sæle, 2005)

2.3.3.4 Nødstrømsaggregat

Mange virksomheter og bygninger har nødstrømsaggregat som reservekraftforsyning for funksjoner som ikke tåler avbrudd. Eksempler på slike funksjoner er kjøleanlegg som ikke tåler reduksjon i temperatur, dataservere mm. Nødstrømsaggregat kan startes opp i perioder med høye kraftpriser og ved behov for effektreserve, og blir dermed driftet tilsvarende «topplastproduksjon». (Sæle, 2005)

Del 3. Implementering av løsninger basert på utnyttelse av forbrukerfleksibilitet

3.1 Økonomiske insentiver i Norge

Kundenes interesse og potensiale for forbrukerfleksibilitet er i stor grad avhengig av tilstedeværelse av økonomiske insentiver. Tabell 10 gir en oversikt over ulike typer ordninger for forbrukerrespons og beskrivelse av status i Norge. Som det går frem av tabellen, finnes det en rekke markedsordninger for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet, men de har først og fremst store forbrukere som målgruppe. Det er ganske få prisbaserte ordninger i Norge i dag. Det må påpekes at Tabell 10 bare tar med de ordningene som allerede er på plass i Norge, men tar ikke hensyn til ordningene som var eller er under testing. En oversikt over noen pilottester er gitt i Vedlegg A.

Tabell 10 Klassifisering av programmer for forbrukerrespons med en oversikt over ordninger tilgjengelige i Norge. Basert på (Albadi & El-Saadany, 2008), (Ottesen, 2012).

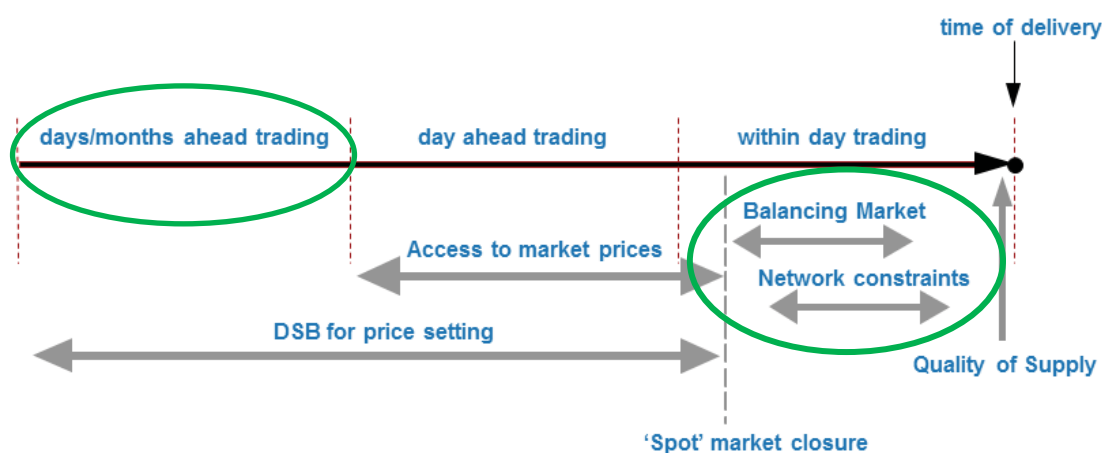
Ordning	Status i Norge
Markedsbaserte ordninger Forbrukere mottar belønning avhengig av redusert lastvolum: ➤ Engrosmarked ➤ Reservemarked ➤ System- og balansetjenester	- ✓ RK/RKOM og spesialregulering: last ≥ 10 MW ✓ Energiopsjoner i forbruk: kraftkrevende industri ✓ Belastningsfrakobling ved lave frekvenser: laster $\approx 100\text{--}400$ MW, kompensasjon via KILE-ordning ✓ Markedet for frekvensstyrte reserver*
Insentivbaserte ordninger Forbrukere mottar belønning for deltakelse: ➤ Utkoblbare/reduserbare laster ➤ Direkte laststyring	✓ Nettariff med utkoblingsklausul for uprioritert forbruk: laster ≥ 25 kW, lavere nettleie -
Prisbaserte ordninger ➤ Døgnvariable tariffer (ToU) ➤ Times spotpriser/sanntidspriser ➤ «Critical Peak Pricing – CPP» ➤ «Extreme Day CPP» ➤ «Extreme Day Pricing»	✓ Nettariffer med tidsdifferensiert effektledd - - - -

* Dette markedet har ikke restriksjoner i forhold til deltakelse av forbrukersiden, men i praksis deltar sluttbrukere ikke. Markedsdesign tjener først og fremst til produsenters behov.

3.1.1 Markedsbaserte ordninger

Anmelding av forbrukerfleksibilitet på ulike kraftmarkeder (Demand Side Bidding) innebærer at sluttbrukere tilbyr å endre sitt elektrisitetsforbruk i en periode mot en finansiell belønning. Et bud skal normalt presisere laststørrelse, utkoblingsvarighet, responstid og hviletid. (IEA, 2002)

Forbrukerfleksibiliteten kan i prinsippet selges på ulike markeder: fra opsjonsmarkeder for reservesikring som finner sted uker/måneder før leveransetidspunkt – til reservemarkeder som sørger for momentan balanse i kraftsystemet når leveransen skjer. Figur 20 viser tidslinjen med ulike typer krafthandel som teoretisk er tilgjengelig for deltakelse av forbrukersiden.



Figur 20 Muligheter for salg av forbrukerfleksibilitet (IEA, 2002). Markeder som utnytter forbrukerfleksibilitet i Norge er merket med grønt.

Som beskrevet i Tabell 10, deltar forbrukssiden i Norge i noen av disse markedene men det er først og fremst store forbrukere som har tilgang til dem. Så vidt det er kjent utnyttes ressurser hos norske forbrukere i regulerkraftmarkedet, samt til spesialregulering og energiopsjoner.

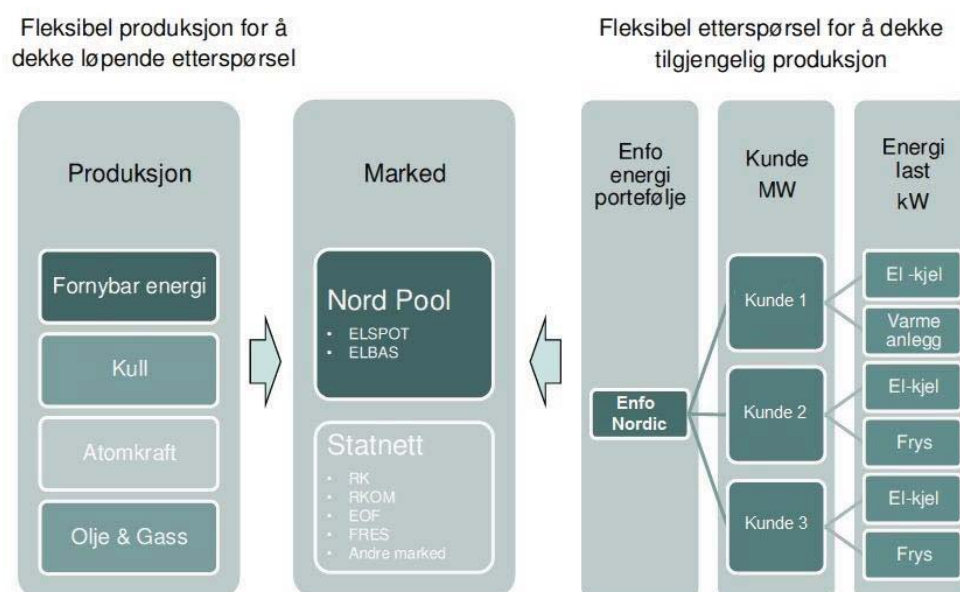
Per i dag finnes det ikke muligheter å selge forbruksreduksjoner direkte i engrosmarkeder (Elspot og Elbas), men de kan selges indirekte via prisfleksibel anmelding. Det er imidlertid ikke mange prisfleksible etterspørselsbud i Elspot i dag. Først og fremst er det store sluttkunder i kraftkrevende industrier og enkelte meglere og porteføljeforvaltere som benytter slike bud, mens mellomstore aktører og kraftleverandører ikke oppfatter dette som nødvendig. (Statnett, 2010)

3.1.2 Aggregering

De fleste de markedsbaserte ordningene opererer med store effektvolumer. Minstevolumet som kan tilbys i spotmarkedet er 0,1 MW. Deltakelse i RK/RKOM forutsetter minstekvantum for et bud lik 10 MW men det er tillat å fordele dette kvantumet på flere enheter innenfor samme nettområde (og samme elspotområde).

For å sikre mellomstore og små kunder mulighet til å delta i ulike markedsbaserte ordninger må de aggregeres. Så lenge en aggregator kan tilfredsstille kravene om volum, aktiveringstid o.l. fastsatt i ulike markeder kan mindre enheter delta i handelen på lik linje med større aktører.

I dag realiseres aggregering av mellomstore kunder i Norge av et selskap ENFO Nordic. Selskapet samkjører laster i et område ved å forvalte en portefølje av bedriftskunder som disponerer over utkoblbare laster, se Figur 21.



Figur 21 Aggregator for effekt- og energireserver. (Raaen, 2011)

Selskapet er en aktør på Statnettsorienterte markeder, og forvalter den samlede fleksibiliteten etter avtalte kriterier med kunde. Dette krever at aggregatoren har kritisk masse MW for anmelding, samt er konkurransedyktig på markedet, og at aggregatoren har fysisk kontroll på energien, gjerne ved hjelp av en fullstendig vertikal integrering ved hjelp av kommunikasjonsløsninger ned til enkelte kunder. Dette kan oppnås ved bruk av velegnet kontrollteknologi og inngåelse av avtaler med tilhørende kraftleverandør og nettselskap.

Generelt sett, er inntektsmuligheter for en aggregator i Norge avhengig av tilgang til flere markeder, fra kapasitets- og reservemarkeder til markeder tilknyttet planlegging og drift. For en aggregator som representerer norske forbrukere er disse mulighetene i dag begrenset, jf. Figur 20. Ved å utvikle flere markedsbaserte IBP vil man tilrettelegge for større deltakelse av sluttbrukersiden og etablering av flere aggregatorer.

3.1.3 Insentivbaserte ordninger

Insentivbaserte ordninger innebærer at man får belønning for deltagelse i en slik ordning. Belønningen kan være i form av direkte utbetaling eller reduserte kraftpriser. I Norge finnes det reduserte nettariffer for utkoblbar forbruk som kan brukes av kunder med uprioritert forbruk (ofte

el-kjeler med brenselfyrt reserve) Anleggsstørrelse må være minst 25 MW og må tåle langvarige utkoblinger (uker/måneder). Fra 1.januar 2012 ble vilkårene for den reduserte tariffen noe endret og tariffen fikk et nytt navn ”Tariff for fleksibelt forbruk”. (Statnetts hjemmeside)

3.1.4 Prisbaserte ordninger

Nettariffer

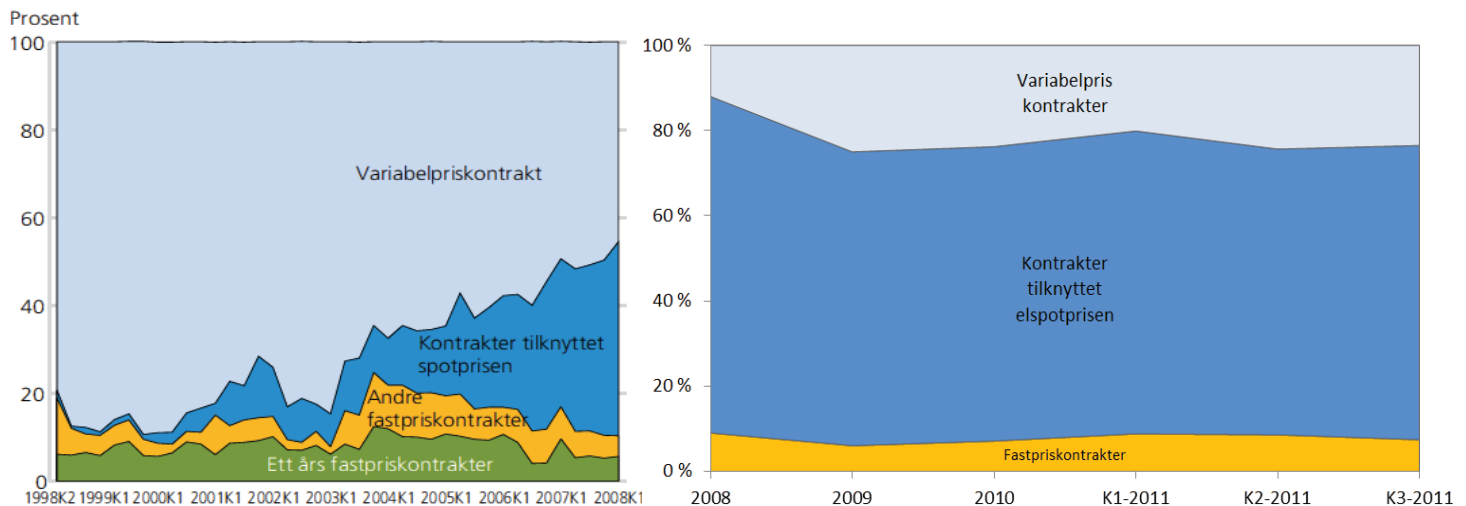
De fleste nettselskaper i Norge tilbyr standardtariffer hvor den eneste form for differensiering er sesongvariasjon. Disse bidrar til å begrense belastningen i vintermånedene når det er fare for effektknapphet, og gjelder først og fremst for større næringskunder med timemåling. De fleste private kunder i Norge har ennå ikke fått timemåling, og tilbys dermed ikke-døgnvariable tariffer. Vanlige tariffer for private kunder består f.eks. av et fastledd og et energiledd som i noen tilfeller varierer mellom sommer og vinter.

Noen få nettselskaper har allerede installert timemåling hos sine kunder og tilbyr døgnvariable effekttariffer med et effektledd som kun er aktivt i perioder med forventet maksimallast. For eksempel, tilbyr Istad Nett H3 tariff med effektledd som avregnes i tidsvinduet 7.00 – 16.00. Både husholdninger med AMS og næringskunder kan benytte denne tariffen. Trønder Energi Nett tilbyr tidsdifferensierte effekttariffer for bedriftskunder - NMT og NM3. Tariffene forutsetter at målte effektverdier reduseres med 20% i lavlastperioden som varer mellom kl. 22:00 – 06:00 i november – februar og hele døgnet i andre måneder.

En rundspørring blant noen utvalgte nettselskaper viser at muligheten for å håndtere ulike tariffer varierer betydelig. For å innføre og utnytte døgnvariable nettariffer i stor skala behøves det etablering av timemåling hos flere kunder, modernisering av kundeinformasjonssystemer (KIS), opplæring av personell og markedsføring hos sluttbrukere, samt tilpasning av dagens tariffreguleringer. (Grande et al., 2007 b) Man kan forvente at en storskala utrulling av AMS og modernisering av datasystemer vil pådrive etablering av nye og mer sofistikerte tariffformer.

Kraftprisavtaler

Vanlige kontraktstyper i Norge er fastpriskontrakter, spotpriskontrakter og kontrakter med variabel pris. Fordeling av ulike kontraktsformer i Norge er vist på Figur 22. Husholdningssektor har en tydelig tendens for en økende mengde kontrakter tilknyttet spotpris. Standard variable kontrakter utgjør en stor andel men blir stadig mindre populære. For næringskunder er spotpriskontrakter klart den mest utbredte kontraktsformen.



Figur 22 Fordeling av kontraktstyper til husholdninger (til venstre) og til næringskunder (til høyre). (Sand, 2011), (NVE, 2008 – 2011)

Standard kraftavtale tilknyttet spotpris benytter som oftest gjennomsnittlige månedspriser fra Nordpool. En høy pris i en enkel time har dermed kun effekt på kunden ved at det øker gjennomsnittsprisen for hele måneden. (Ericson et al. 2009) Utbygging av timemåling vil medføre at flere kunder vil avregnes i henhold til spotpris.

For å styrke sine spotpriskontrakter tilbyr noen kraftleverandører tilleggstjenester basert på ulike teknologiske løsninger for å overvåke og styre kundenes forbruk. Eksempler er prisvarsling per e-post/sms (Trondheim Kraft, Fjordkraft), smart energimåler CurrentCost som overvåker strømforbruk over Internett og smarttelefon (For Better Days), Smart Styring av elektriske laster ut fra kraftpriser (Malvik Everk). Mange av disse løsningene forutsetter at man har tid og interesse for å følge med på sitt elektrisitetsforbruk, og har først og fremst private kunder som målgruppen. For næringskunder er automatiske løsninger mer velegnet, som f.eks. optimalisering av energiforbruk via et sentralt driftskontrollsystem på bakgrunn av nettariffen eller prissignaler. Direkte laststyring er også et godt alternativ for næringskunder.

3.2 Internasjonale erfaringer med utnyttelse av forbrukerfleksibilitet

I mange land, som USA, Italia og Tyskland, har man allerede etablerte markeder for teknologiske løsninger og tjenester basert på forbrukerfleksibilitet, og det er godt tilrettelagt for deltakelse av ikke bare store forbrukere men også mellomstore og små kunder. Ikke minst selve sluttbrukere der har bedre kjennskap til ulike konsepter tilknyttet forbrukerfleksibilitet.

3.2.1 Prisbaserte ordninger

I Finland får husholdningskunder døgnvariable («time-of-use») tariffer helt siden 70-tallet, da utbredelse av elektriske oppvarmingssystemer i landet begynte. Det er typisk å differensiere mellom dag og natt, med høyere pris mellom kl. 7 – 22, samt ukedag/helg, og sesongdifferensiering er også

mulig. Disse tariffene har stimulert bredt implementering av enøk-tiltak i boliger (bedre isolering, varmegjenvinning o.l) og utvikling av nye teknologiske løsninger (varmtvannsproduksjon i natt og varmelagring - «night heat storage»). Takket være døgnvariable tariffer blir den aggregerte effektprofilen i Finland betydelig flatere enn i andre nordiske land. (VTT, 2007)

Italia, som før opplevde betydelige prissvingninger i strømmarkedet, har brukt døgnvariable tariffer allerede i noen år. Nå planlegger energimyndighetene å innføre en ny mekanisme for å beregne energipris med basis i en døgnvariabel tariff: høyere pris mellom kl. 8-19 i ukedager, lavere pris i resten av tid. (Torriti et al., 2009) Incentivet for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet vil altså bli forankret som en regulering.

3.2.2 Incentivbaserte ordninger

Incentivbaserte ordninger for lastutkoblinger er mye brukt i Italia. De inndeles i sanntidsordninger (uten varsel) og ordninger med 15-minutters varsel. Deltakere er forpliktet til å installere og vedlikeholde utkoblingsenheter (Load Shedding Peripheral Units) og får kompensasjon i henhold til predefinerte satser. Størrelse av utkoblingseffekt må ligge på 10 MW for sanntidsordninger og på 3 MW for ordninger med varsel. (Torriti et al., 2009)

I Finland tilbys husholdningskunder med elektriske oppvarmingssystemer kraftavtaler med lastutkoblingsopsjon som gir 50% rabatt på fast ledd i energiregningen. Til gjengjeld får kraftleverandøren en mulighet til å utkoble kundenes oppvarmingssystem et begrenset antall ganger per år. I praksis iverksettes utkoblingen meget sjelden. (IEA, 2002)

3.2.3 Markedsbaserte ordninger – roterende reserve

I Finland og i Storbritannia kan store industrielle kunder selge sin forbrukerfleksibilitet som effektreserve til automatisk frekvensstyring. Det settes krav til en slik reserve om at minstevolumet skal være 3 MW, om at full respons skal skje innen 2 sekunder og vare i minst 30 minutter. (IEA, 2002)

California ISO og South California Edison i USA undersøker i tillegg utnyttelse av aggregerte ressurser hos mindre sluttbrukere som roterende reserve. Forbrukerrespons som roterende reserve har en rekke fordeler sammenlignet med bruk av roterende reserve hos generatorer:

- nesten momentan full respons, sammenlignet med 10 minutters forsinkelse hos generatorer;
- forbrukerrespons kan aktiveres hvor som helst i kraftsystemet, i motsetning til respons fra generatorer som er begrenset til et bestemt geografisk område;
- respons er distribuert over flere enheter, og utfall av en enhet er ikke kritisk for kraftsystemet. (Eto, 2007)

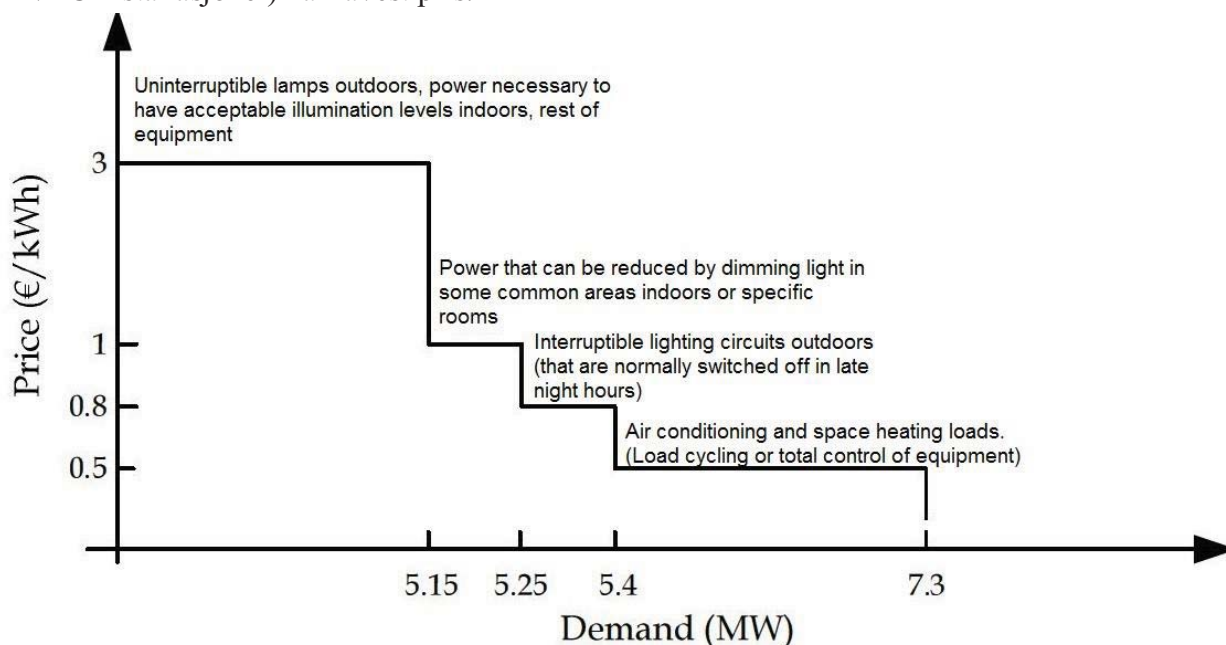
Utnyttelse av aggregerte reserver hos sluttbrukere som roterende reserve er et viktig bidrag til

forsyningssikkerhet, fordi systemoperatører får flere verktøy for å håndtere frekvensavvik og unngå rullerende utkoblinger i situasjoner med reserveknapphet hos generatorer. I Norden i 2008 ble det etablert en egen markedsløsning for frekvensstyrte reserver. Deltakelse av forbrukersiden vil kunne styrke disse markedene og gjøre handel med primærreserve enda mer effektiv.

3.2.4 Markedsbaserte ordninger – dagen-før krafthandel

Forbrukerfleksibilitet kan selges på både dagen-før- og intradagsmarkeder, enten innarbeidet i prisfleksible bud fra kjøpere eller som et eget produkt. Mens prisfleksible bud er allerede mye anvendt i krafthandelen, finnes det bare få markedsordninger i verden som tillater direkte salg av forbruksreduksjoner. En slik ordning er innført i USA av NYISO og PJM². Ordningen heter «Day Ahead DR Program (DADRP)» og innebærer at sluttbrukere kan gi bud om prisavhengige lastreduksjoner (Demand Reduction Bids). Budet aksepteres hvis klareringspris er høyere enn prisnivået angitt i budet, og sluttbrukeren er da forpliktet å iverksette utkoblingen dagen etter. Hvis utkoblingen ikke skjer, straffes sluttbrukeren. (Walawalkar et al., 2010)

Et bud om forbrukerrespons kan lages på bakgrunn av informasjon om lavprioriterte og høyprioriterte belastninger. Figur 23 viser et eksempel på en tilbudskurve for Polyteknisk Universitet i Valencia. Kritiske laster som er avgjørende for virksomhetens funksjonalitet (her – utstyr og minimal belysning inne og belysning ute) prissattes høyest, mens lavprioriterte laster (her – HVAC installasjoner) har lavest pris.



Figur 23 Prissetting av forbrukerfleksibilitet. (Alvarez et al., 2003).

² NYISO – New York Independent System Operator, PJM Interconnection – regional transmisjonsorganisasjon (RTO) som koordinerer engrosmarkeder i en rekke stater i USA.

Del 4. Casestudie – Høgskolen i Østfold, Halden

4.1 Metode og data

Det benyttes en kvalitativ metode for analyse av høgskolebygningene, basert på både numerisk og kvalitativ data. Numerisk data er innhentet fra Statsbygg og fra Høgskolen. Det er også brukt data og underlagsinformasjon fra et prosjekt av (Erichsen & Horgen A/S, 2011) som kartlagte kjøling i en av høgskolens bygninger, nemlig Informasjonsavdelingens bygg (IA-bygget). Annen relevant informasjon om bygningene er innsamlet på byggbefaring 29. mars 2012 og ved samtaler med referansepersoner.

Numerisk data som danner grunnlag for analyse omfatter:

- timesverdier for totalt elektrisitetsforbruk og utetemperatur i 2008, 2009, 2010
- ukentlig data om oljeforbruk i 2008, 2009 og 2010
- ukentlig data om energiforbruk til enkelte elektriske installasjoner i uke 1-34 i 2011
- informasjon om energiutgifter
- systeminformasjon om ventilasjonsvifter
- klimadata for Halden, se Vedlegg B.

Det er gjort beregninger av elektrisitetsforbruk og teoretisk utkoblingspotensiale til enkelte elektriske installasjoner. Datagrunnlag for noen beregninger er presentert i Vedlegg B – E. I henhold til Kapittel 1.4 er potensialet for forbrukerfleksibilitet estimert som funksjon av:

- utkoblingsvarighet: 30 min, 1 time og langvarig
- utetemperatur (for termiske laster): -5°C, 0°C, 5°C, 10°C.

Videre er det gjort kvalitative vurderinger rundt tilgjengelighet og realiserbarhet av dette potensialet.

På grunn av manglende timesdata om forbruk til enkelte elektriske installasjoner bør de estimatene man har fått betraktes som indikasjoner og ikke nøyaktige verdier. For å få bedre estimater bør det gjennomføres logginger på installasjonene i løpet av minst ett år.

4.2 Generelt om Høgskolen i Østfold

Høgskolen i Østfold er lokalisert på to studiesteder – Halden og Fredrikstad. Høgskolebygningene forvaltes av Statsbygg som står ansvarlig for drift og vedlikehold av bygningene, samt energiøkonomiseringstiltak. Statsbygg leier ut bygningsmassen til den statlige utdanningsinstitusjonen.



Høgskolesenteret i Halden er et byggekompleks med samlet gulvareal på ca. 30 000 m² og 4 etasjer. Høgskolebygningene ble ferdigstilt i 2006. De brukes av om lag 2200 studenter og 215 ansatte. Bygningens bruk bestemmes av den akademiske kalenderen. Man kan grovt skille ut 3 typer bruksmønstre:

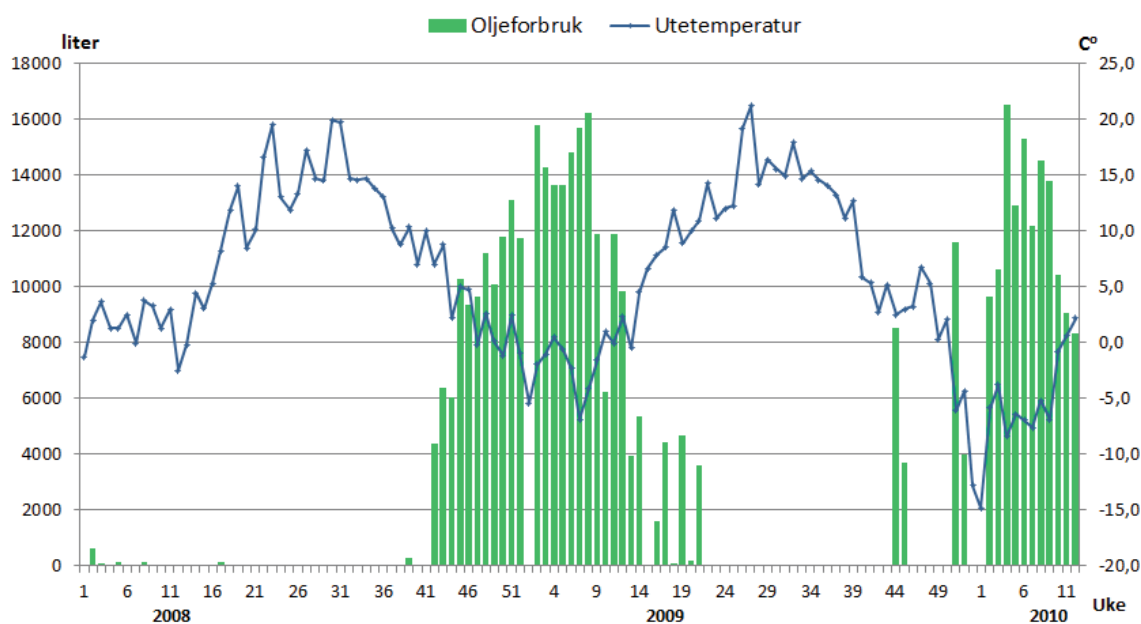
- høy energiforbruk – arbeidsdager i undervisningsperiode 15. august – 28. november, 3. januar – 30. april;
- middels energiforbruk – arbeidsdager i eksamensperiode 28. november – 21. desember, 30. april – 15. juni;
- lav energiforbruk – helger og ferier.

4.2.1 Beskrivelse av energisystem

Høgskolebygningene oppvarmes og kjøles via et *vannbårent varmesystem* tilknyttet en egen energisentral. Det vannbårne systemet dekker behov for varmt vann, romoppvarming via radiatorer, ventilasjonsvarme og -kjøling via varme- og kjølebatterier, samt snøsmelting. Et system av sirkulasjonspumper sørger for sirkulasjon av varmtvann og isvann i bygningene. I noen få områder har man elektrisk oppvarming i tillegg.

I energisentralen står 3 elektriske kjeler, hver med installert effekt på 900 kW og 5 driftsnivåer, og 3 oljekjeler med den samlede kapasiteten på 1,2 MW. Overgang mellom olje og elektrisitet styres fra SD-anlegg. Om det er olje eller elektrisitet som benyttes velges manuelt av driftspersonalet på bakgrunn av anbefaling fra et konsulentselskap.

Ved å studere informasjon om oljebruk og utetemperaturer vintre 2008, 2009 og 2010, ble det erfart at el-kjelene brukes typisk ved høyere utetemperaturer, mens ved lavere temperaturer brukes oljekjelene, se Figur 24. Dette kan være knyttet til høyere elektrisitetspriser i disse periodene.



Figur 24 Oljeforbruk i Høgskolen og utetemperaturer i 2008, 2009 og 2010.

Kuldeproduksjon skjer ved hjelp av 3 kjølemaskiner på 800kW, 800 kW og 350 kW plassert i energisentralen, samt frikjøling ved hjelp av 8 tørrkjølerflåter med 72 tørrkjølervifter plassert på taket. Kjølemaskinene settes normalt i drift ved utetemperaturer over 10° C. Frikjøling tillates som regel ved utetemperaturer mellom 0 - 8°C, og skal slås av ved lavere temperaturer. Normalt skal ikke kjølemaskinene og frikjøling være i drift samtidig.

Høgskolen er utstyrt med 13 **ventilasjonssystemer** for friskluft tilførsel. Ventilasjonsanleggene har som hovedoppgave å ventilere rommene slik at luftkvaliteten tilfredsstiller kravet til innneklima. Ventilasjonsluft oppvarmes og kjøles via varme- og kjølebatterier, og en del aggregater har roterende varmegjenvinnere. Viftemotorer er frekvensstyrt i % i henhold til innnetemperatur. Kjøling i ventilasjonssystemene inngår sammen med lokalkjøling via konvektorer/fancoils ved sommer drift. Driftstid for ventilasjon er fra kl. 07.00 til kl. 16.00 på hverdagene, og i helgene og ferier er den av. De fleste lokaler i høgskolen (sentralsonen, undervisningslokaler, grupperom og kontorer) har behovsstyrt ventilasjon (VAV) som styres av tilstedeværelse. Noen lokaler i høgskolen har konstant ventilasjon (CAV): biblioteket og kantine har CAV som kan kjøres på to luftmengder etter innstilt driftstid. Informasjon om ventilasjonsanlegg er oppsummert i Vedlegg D.

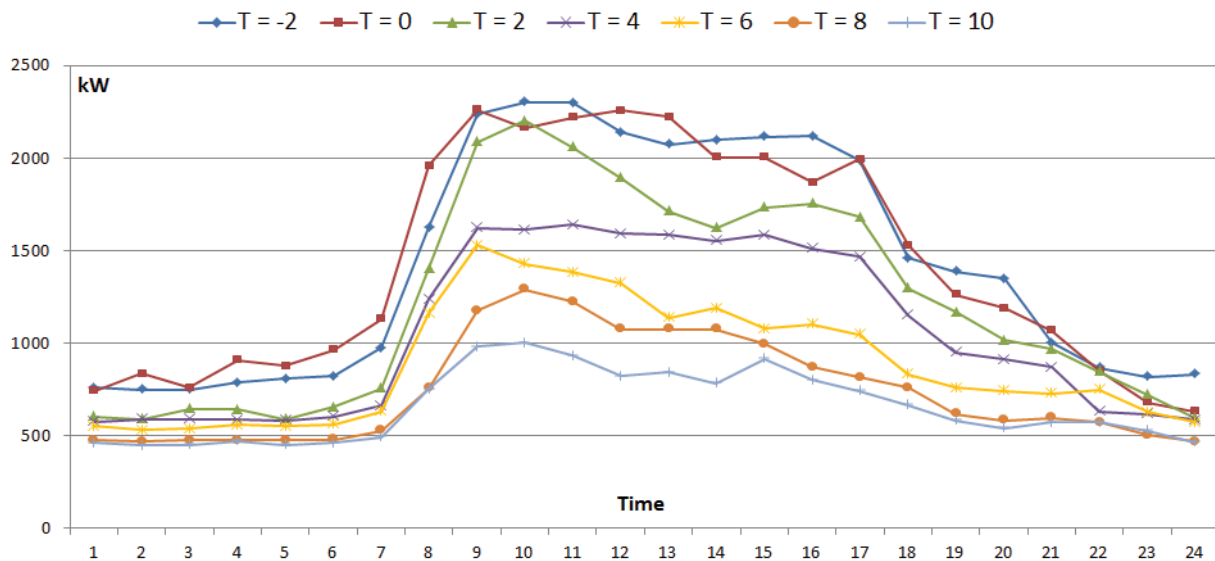
Belysning i fellesarealer slås på rundt kl. 6:00, når rengjøringspersonalet kommer, og går automatisk av i hele bygget kl.16.00. På kontorer styres lyset etter en av/på sensor for tilstedeværelse, og i undervisningsrom, grupperom og på biblioteket har man individuell lysstyring.

Elektrisk utstyr som brukes i bygningene omfatter projektorer, kopimaskiner, fax, printere, datautstyr i serverrommene, kjøkkenutstyr o.l. Det finnes også et UPS-anlegg (Uninterruptible Power Supply) som sikrer elektrisitetsforsyning til serverrommene.

Høgskolebygningene har *sentral driftskontroll* med oversikt over alle elektriske installasjoner og innebygde styringsfunksjoner. Innstilling av oppvarmings- og kjølesettpunkt, skiftning mellom olje og elektrisitet kan enkelt gjennomføres via SD-anlegget.

4.2.2 Elektrisitetsforbruk

Årlig elektrisitetsforbruk ligger i størrelsesorden 5,3 GWh. Figur 25 viser typiske døgnprofiler ved ulike utetemperaturer. Profilene er basert på et utvalg av arbeidsdager med undervisning når el-kjelene var i bruk. Utetemperaturer representerer dagens gjennomsnitt.



Figur 25 Døgnprofiler for effektuttak i Høgskolen i Østfold ved ulike utetemperaturer

Profilen er utformet som en typisk effektprofil for næringsbygg med stabilt høyt forbruk mellom kl. 9 – 17. Effekttoppen vil normalt inntreffe rundt kl. 9 – 10.

Elektrisitetsforbruk ligger høyest ved utetemperaturer under 0°C, som i Halden klima inntreffer normalt i desember – mars. Effekttoppen i vintersesongen vil ligge på ca. 2300 kW. Den høyeste effekttoppen for høgskolebygningene ble faktisk registrert 5. januar 2010 kl.10:00 ($T_{ute} = -14,8$) og var på 3032 kW.

Vanlige sommertemperaturer i Halden klima ligger over 10°C, og den nederste kurven gir indikasjon på effektprofil om sommeren. Effekttoppen om sommeren vil ligge på ca. 1000 kW.

4.2.3 Kraftkontrakt og nettleieavtale

Bygningene har foreløpig ingen timesmåling. Leietaker Høgskolen i Østfold står som abonnent hos netteier Fortum. Nettleietariff heter «Produkt F» for lavspenningsanlegg. Nettleie består av et fastbeløp, et energiledd og et effektledd som avregnes etter anleggets maksimale effekt per måned og er differensiert etter vinter- og sommersesong.

Leietaker Høgskolen i Østfold har en kraftprisavtale med kraftleverandør LOS AS. Avtalen er fremforhandlet av Statsbygg og forutsetter månedsavregning i henhold til spotpriser.

4.3 Resultater: teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet

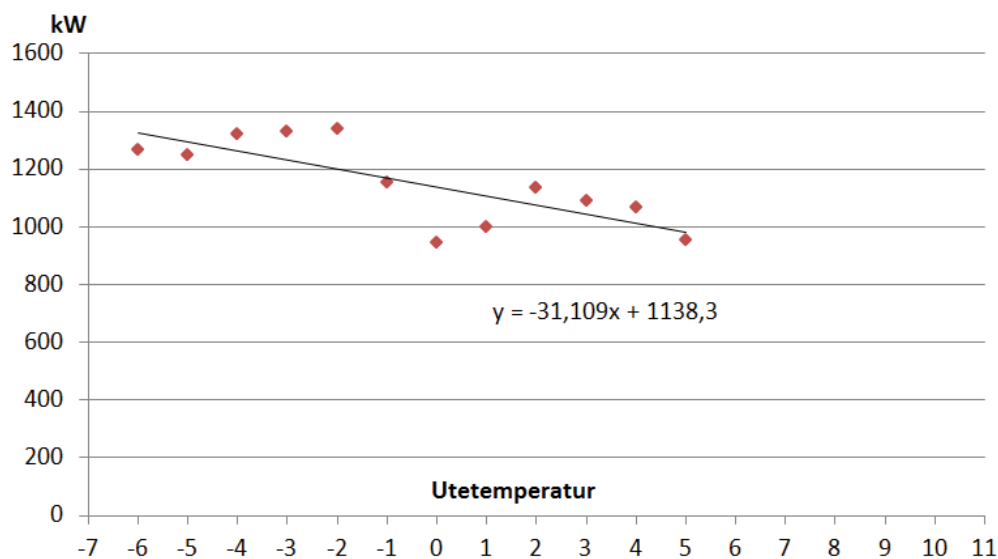
4.3.1 Elektriske kjeler

Det største potensiale for forbrukerfleksibilitet i høgskolebygningene er tilknyttet el-kjelene med oljefyrt reserve. El-kjelene kan enkelt og momentant slås av via SD-anlegget. På grunn av oljereserve vil gjenninnkoblingsproblematikken falle bort og utkobling av el-kjelene vil være mulig i både korte og lange perioder.



El-kjelene i energisentralen har til sammen 2700 kW installert effekt.

Figur 26 viser beregnet effektuttak av el-kjelene ved ulike utetemperaturer. På grunn av manglende data om el-kjelenes timesforbruk ble effektuttaket beregnet som differanse mellom det totale elektriske forbruket i enkelte timer med samme utetemperatur, med og uten el-kjelene. For å få best mulige resultater ble det brukt et tilnærmet homogent utvalg av timer. Datagrunnlaget og metoden er presentert i Vedlegg E.



Figur 26 Beregnet effektuttak til el-kjelene ved ulike utetemperaturer med lineær regresjon.
Korrelasjonskoeffisient = -0,77.

Korrelasjonskoeffisient lik -0,77 tilsier at lineær sammenheng mellom utetemperatur og effektuttak er ganske tydelig. Eventuell variasjon i elektrisitetsforbruk kan skyldes det faktumet at el-kjelene ikke bare dekker romoppvarmingsbehov, men også behov for varmtvann som er nesten uavhengig av utetemperatur, samt behov for snøsmelting som normalt bare oppstår ved utetemperaturer fra -4 til 4°C.

Ved hjelp av regresjonslikningen ble det beregnet antall kW som teoretisk kan frigjøres ved utkobling av el-kjelene, se Tabell 11.

Tabell 11 Teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet tilknyttet el-kjelene

Utetemperatur	Utkoblingspotensiale
-10°C	1448 kW
-5 °C	1293 kW
0 °C	1138 kW
5 °C	983 kW
10 °C	828 kW

Som nevnt tidligere, med dagens drift, vil el-kjelene ofte være slått av i perioder med utetemperaturer lavere enn -5°C, og utkoblingspotensiale på over 1200 kW vil være utilgjengelig. Det er også knyttet usikkerhet til den tilgjengelige utkoblingseffekten til enhver tid på grunn av diskre effektprofil.

4.3.2 Ventilasjonsanlegg

For å estimere utkoblingspotensiale tilknyttet ventilasjonsanleggene ble det brukt informasjon om de installerte effektene på viftemotorene presentert i Vedlegg D. De manglende verdiene ble anslått ut fra informasjon om distribuert luftmengde. Det totale installerte effekten på ventilasjonsviftene som går med CAV er 70 kW. Det totale installerte effekten på ventilasjonsviftene som går med VAV er 257 kW.

Videre antas det at viftene med CAV går med 90% effektuttak og viftene med VAV går med 60% effektuttak. Det siste er basert på resultatene av (Erichsen & Horgen A/S, 2011). Deres målinger påviste et gjennomsnittlig effektuttak av tilluftsviften og avtrekksviften i IA-bygget lik henholdsvis 8,6 kW og 9,6 kW. Dette utgjør henholdsvis 57% og 64% av de installerte effektene på 15 kW. Med disse forutsetningene får man elektrisitetsforbruk til ventilasjonsviftene lik:

$$0,9 * 70 + 0,6 * 257 = \mathbf{217 \text{ kW}}$$

Det er ikke gunstig å legge ventilasjonen ut i perioder over 20-30 minutter (se punkt 2.3.3.1). Imidlertid, når det er flere ventilasjonsaggregater i en bygning, kan man bruke styringsstrategier for å redusere elektrisitetsforbruk til ventilasjon uten komfortendringer. F.eks. kan man rullere utkoblinger/prosentvis reduksjon av motorhastighet, som vist i Tabell 12. Denne strategien vil redusere viftenes timesforbruk med 50%.

Tabell 12 Eksempel på rullerende reduksjon av motorhastigheter på ventilasjonsvifter

Ventilasjon	0 – 15 min	15-30 min	30 – 45 min	45 – 60 min
Aggregat 1	90%	10%	90%	10%
Aggregat 2	10%	90%	10%	90%

Siden det finnes 13 ventilasjonsaggregater i høgskolebygningene har man gode muligheter til å utvikle slike styringsalgoritmer. Utkoblingspotensialet beregnet i Tabell 13 forutsetter bruk av styringsstrategien beskrevet i Tabell 12 ovenfor som gir 50% forbruksreduksjon i løpet av en time.

Tabell 13 Utkoblingspotensiale tilknyttet ventilasjonsanleggene. Tilgjengelig mellom kl. 07.00 til kl. 16.00 på hverdager med undervisning

Utkoblingsvarighet	Utkoblingspotensiale
30 min	217 kW
1 time	109 kW

4.3.3 Belysning

En del av potensiale for forbrukerfleksibilitet i høgskolen er knyttet til belysning. Den installerte effekten til belysning og effektprofil til belysningsutstyr er ukjent men kan anslås på basis av NS3031 og antakelser om forbruksmønstre. I henhold til standardverdier for universitets- og høgskolebygg skal effektbehov til belysning utgjøre 8 W/m^2 . Ifølge (Erichsen & Horgen A/S, 2010) som gjennomførte kartlegging av belysningsutstyr i IA-bygget, er det godt samsvar mellom det standardiserte og det kartlagte effektbehovet, og vi antar i det videre at dette gjelder for hele høgskolen. Den installerte effekten til belysning for hele høgskolen vil da være:

$$8 \text{ W/m}^2 * 30000 \text{ m}^2 = 240 \text{ kW}$$

Det må påpekes at i praksis er standardiserte verdier ofte lavere enn reelle, og derfor kan potensiale for forbrukerfleksibilitet beregnet nedenfor ansees som det minimale tilgjengelige potensiale.

Utkobling av lys

Det kommer mye naturlys inn i høgskolebygningene gjennom 2500 m^2 glassfasader og takluker. Ved byggbefaringen 29. mars ble det observert at, til tross for at det var delvis skyet denne dagen, i fellesarealer og på biblioteket var bidraget fra dagslys større enn fra kunstig lys. Også ifølge driftspersonalet går det i ganske mye energi til unødvendig belysning i noen deler av byggene. Det kan dermed være mulig å slå av eller dempe belysning i fellesarealer, på biblioteket, i kaffebaren o.l. i noen perioder uten ulemper for brukere.

Antar vi at fellesarealene med vinduer utgjør 30% av BRA, og at det reelle effektuttaket i driftstid på en vanlig arbeidsdag utgjør 80% av den installerte effekten, vil det estimerte øyeblikkelige utkoblingspotensialet til belysning i disse arealene mellom kl. 6 – 16 utgjøre:

$$240 \text{ kW} * 0,3 * 0,8 = \mathbf{58 \text{ kW}}$$

Dimming av lys

Et alternativ til å slå lyset fullstendig av er å benytte et system for lysdimming. Ifølge undersøkelser, vil demping av belysning i kontorbygg med opp til 20% ikke oppdages av kontorbrukere uavhengig av hvor fort den skjer. Demping med 50% vil ikke oppdages hvis reduksjonen skjer sakte: 2% per min, dvs. at dempingen må skje i løpet av 25 min (se punkt 2.3.3.2).

For kontorer, undervisningsrom, grupperom, fellesarealer uten vinduer er lysdimming et bedre alternativ enn fullstendig utkobling. Antar vi at disse arealene utgjør 70% av BRA og at det reelle effektuttaket i driftstid på en vanlig arbeidsdag utgjør 80% av den installerte effekten, vil man få følgende verdier:

$$20\% \text{ dimming (momentan): } 240 * 0,7 * 0,8 * 0,2 = \mathbf{27 \text{ kW}}$$

$$50\% \text{ dimming (i løpet av 25 min): } 240 * 0,7 * 0,8 * 0,5 = \mathbf{67 \text{ kW}}$$

Valg av styringsstrategi (momentan utkobling eller dimming) må veies opp mot investeringskostnader og gevinst man får ved å delta i ulike ordninger. Lysdimming, særlig kontinuerlig prosentvis reduksjon, er et kostbart system, og det er usikkert om installasjonskostnader forbundet med et slikt system vil gjøre tiltaket lønnsomt. Det må påpekes at langsom lysdimming er ikke egnet for ordninger hvor momentan respons uten varsel behøves. Tabell 14 oppsummerer resultater for belysning i høgskolebygningene.

**Tabell 14 Teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet tilknyttet belysning.
Tilgjengelig fra kl. 6 – 16 på arbeidsdager med undervisning**

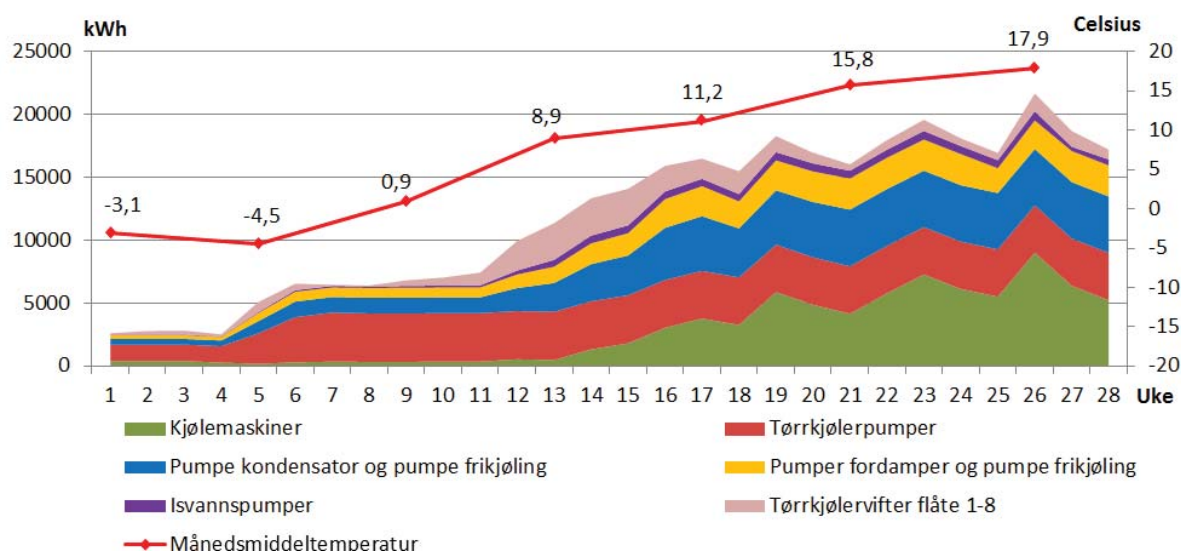
Frigjort effekt	Respons
58 + 27 = 85kW	langvarig, momentan
67 kW	langvarig, ca. 25 min før full respons

Lysstyring kan også benyttes med sikte på en generell energieffektivisering, f.eks. hvis man installerer et styringssystem med dagslyssensorer eller tidsinnstilling. Permanent optimalisering av belysning regnes ikke med som forbrukerrespons, og vil redusere det beregnete potensialet.

4.3.4 Kjølesystem

Kjølesystemet kan være en betydelig kilde av forbrukerfleksibilitet i sommersesongen. Også i vintersesongen, på grunn av konstant behov for kjøling av serverrommene, er kjølesystemet i drift. Det finnes ulike teknologier for styring av vifter og pumper tilknyttet kjølesystemet. Turtall på motorer kan styres f.eks. ved hjelp av trinnkobler (trinnvis reduksjon), spenningsregulering (prosentvis reduksjon) og frekvensregulering (prosentvis reduksjon). Teknologiens kompleksitet bestemmer investeringskostnad. I det videre vil det teoretiske utkoblingspotensialet til viftene og pumpene estimeres med forutsetning om en mulig 100% reduksjon av turtall.

Figur 27 viser elektrisitetsforbruk til ulike komponenter av kjølesystemet i januar – juli 2011, samt månedsmiddeltemperaturer.

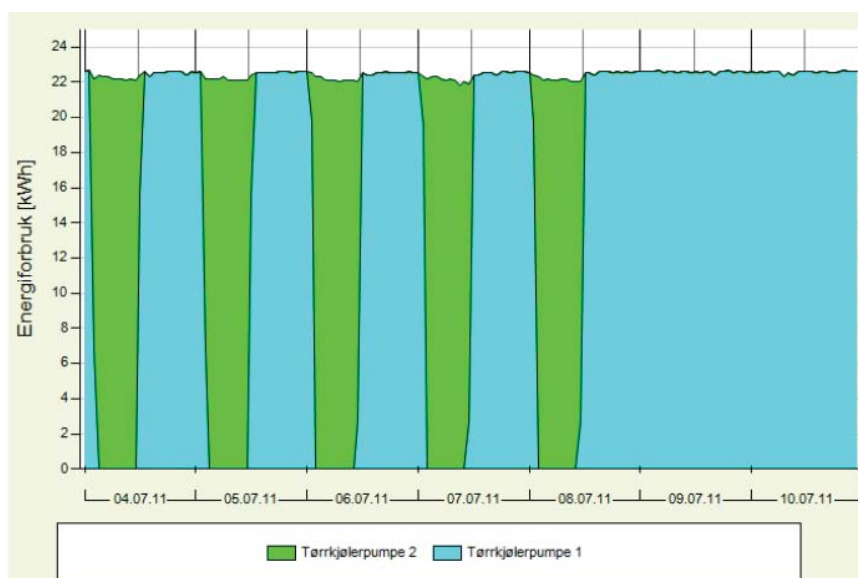


Figur 27 Energibruk til kjølig i Høgskolen i Østfold og gjennomsnittlig månedstemperatur i 2011. Basert på målinger av (Erichsen & Horgen, 2011) sendt fra Statsbygg.

Frikjøling

Hovedkomponenter av frikjølingssystemet er tørrkjølervifter og tørrkjølerpumper. Som det går frem av Figur 27, har tørrkjølerpumpene nesten konstant elektrisitetsforbruk helt fra uke 6 (midten av februar), mens tørrkjølerviftene har størst forbruk i uke 12 – 16.

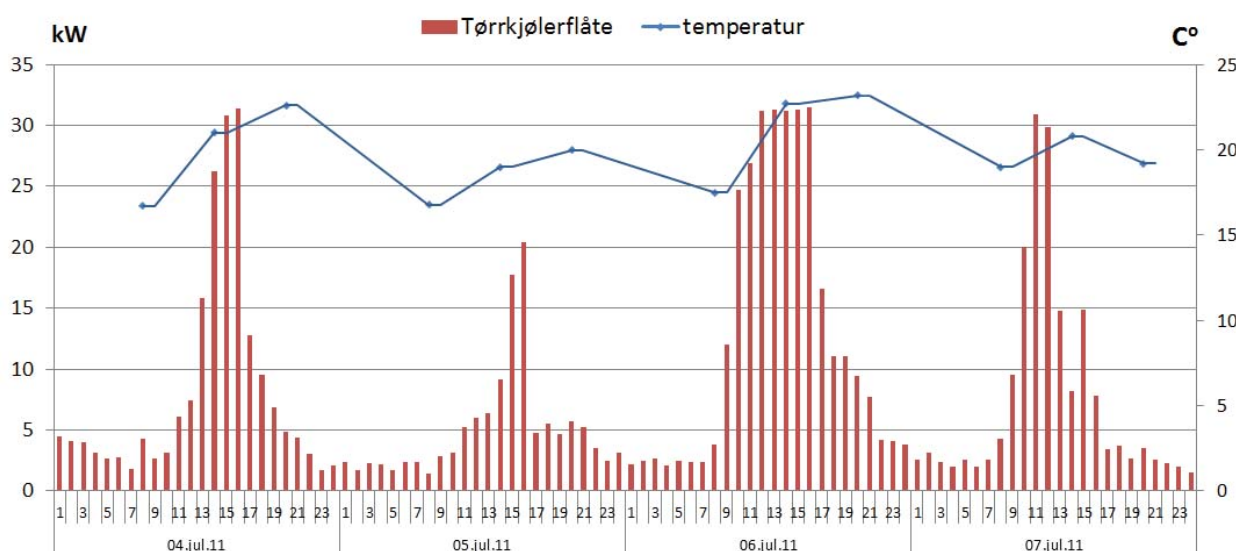
Tørrkjølerpumpene har motoreffekt på 22 kW, og i henhold til målingene gjennomført av (Erichsen & Horgen A/S, 2011) i uke 27 går de med full effekt mesteparten av tiden selv om det er lavt kjølebehov i bygningene på grunn av ferietid, se Figur 28.



Figur 28 Energibruk til tørrkjølerpumper i uke 27 i 2011 (Erichsen & Horgen, 2011)

Ifølge (Erichsen & Horgen A/S, 2011) er dette effektuttaket ikke optimalt, og det er mye energisparepotensiale å hente ved å forbedre behovsregulering av pumpene. Imidlertid, med dagens drift, er effektuttak til tørrkjølerpumpene lik **22 kW** (når frikjøling er i gang – noe so skjer ved utetemperaturer over 0°C).

Figur 29 viser målt timesforbruk til tørrkjølerviftene i løpet av 4 dager i juli med utetemperaturer mellom 19 – 20°C. Ifølge driftsregler skal ikke frikjøling brukes ved utetemperaturer over 10°C, fordi da må maskinkjøling settes i gang. (Erichsen & Horgen A/S, 2011) Det er ukjent hvorfor tørrkjølerviftene er i drift ved slike temperaturer.



Figur 29 Energibruk til tørrkjølerviftene og gjennomsnittlige utetemperaturer i uke 27, 2011. Basert på målinger av (Erichsen & Horgen, 2011) sendt fra Statsbygg.

Som Figur 29 viser, er det veldig stor variasjon i effektuttak til tørrkjølerviftene ved tilnærmet samme utetemperatur – noe som blant annet skyldes veldig lav aktivitet i høgskolebygningene i juli.

Det er derfor vanskelig å anslå utkoblingspotensiale ved andre utetemperaturer uten målinger, særlig når driftsreglene er uklare.

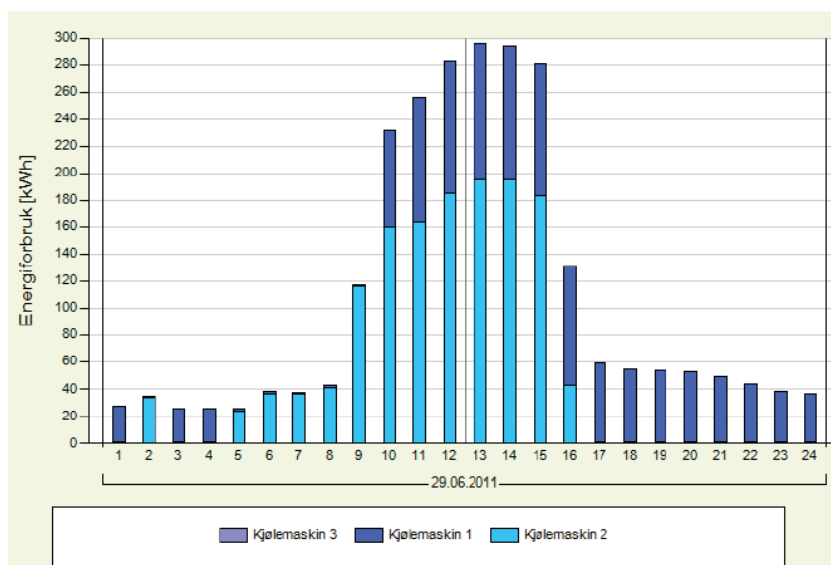
På grunn av stor variasjon mellom enkelte timer ble det bestemt å estimere utkoblingspotensiale ved $T_{ute} = 5^{\circ}\text{C}$ ut fra forhold mellom el-forbruk og temperatur i en enkel time. Det benyttes målt timesforbruk 6. juli 2011, kl. 14. Forbruket i denne timen var lik 31,2 kW og $T_{ute} = 22,7^{\circ}\text{C}$. Altså ved $T_{ute} = 5^{\circ}\text{C}$ vil forbruket kl. 14 antakelig være:

$$(5 * 31,2) / 22,7 = 7 \text{ kW}$$

Maskinkjøling

Systemet for maskinkjøling omfatter kjølemaskiner og pumper på fordamper- og kondensatorsiden. Ifølge driftsregler skal maskinkjølingen brukes ved utetemperaturer over 10°C . I praksis behøves kuldeproduksjon i hele året på grunn av konstant kjølebehov til serverrommene. Figur 27 viser at noe elektrisitet går til maskinkjøling bestandig, og fra uke 15 (midten av april) begynner forbruket å øke.

Figur 30 viser en typisk døgnprofil til kjølemaskinene. Maskinene er i alternerende drift for å dekke den nødvendige kuldeproduksjon til enhver tid. Om natta dekker kuldeproduksjonen behov til serverrommene.

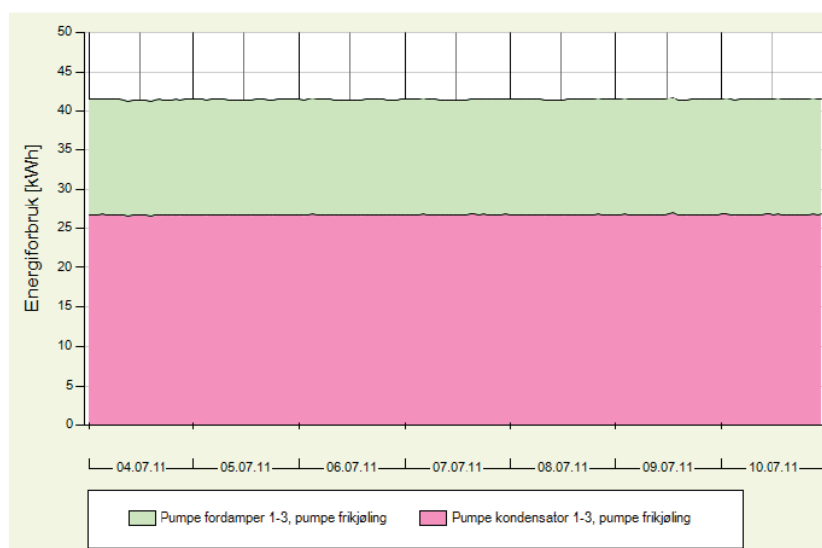


Figur 30 Energibruk til drift av kjølemaskiner 29. juni 2011 (Erichsen & Horgen A/S, 2011)

På grunn av stor variasjon mellom enkelte timer ble det bestemt å estimere utkoblingspotensiale ved $T_{ute} = 10^{\circ}\text{C}$ ut fra forhold mellom el-forbruk og temperatur i en enkel time. Det benyttes målt timesforbruk 29. juni, kl. 14 (se Figur 30). Forbruket i denne timen var ca. 295 kW og $T_{ute} = 24,3^{\circ}\text{C}$. Altså ved $T_{ute} = 10^{\circ}\text{C}$ vil forbruket kl. 14 antakelig være:

$$(10 * 295) / 24,3 = 121 \text{ kW (ved utetemperatur } 10^{\circ}\text{C)}$$

Pumpene på fordamper- og kondensatorsiden har installert motoreffekt på 41,5 kW. Ifølge målinger av (Erichsen & Horgen A/S, 2011) i uke 27 gikk de på full kapasitet hele uke (se Figur 31).



Figur 31 Energibruk til drift av pumper på fordamper- og kondensatorsiden av kjølemaskinene samt pumper for frikjøling i uke 27 i 2011. (Erichsen & Horgen A/S, 2011)

Ideelt sett skal dette ikke skje – normalt skal bare de pumpene som tilhører den aktuelle kjølemaskinen være i drift sammen med denne maskinen. Derfor er dette effektuttaket overdimensjonert i forhold til kjølebehov. Imidlertid, med dagens drift, utgjør effektuttak til pumpene på fordamper- og kondensatorsiden ca. **40 kW**.

Oppsummering kjølesystem

Med informasjonsgrunnlag som foreligger er det vanskelig å anslå hvor stor andel av effektuttaket til pumpe- og viftedrift er mulig å redusere. Hvorvidt det er mulig å utkoble kjølemaskinene er heller ikke kjent. I det videre antas det at det er mulig å redusere effektuttak til kjølesystemet med 50% i løpet av en time uten ulemper for bygningenes brukere. Dette kan f.eks. gjøres ved hjelp av nedregulering av turtall på pumpene og viftene med 50% og rullerende utkoblinger av kjølemaskinene i løpet av denne timen.

Tabell 15 Teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet tilknyttet kjølesystemet

T_{ute}	Utkoblingspotensiale, 1 time
5°C (frikjøling)	$0,5 * (22 + 7) = 15 \text{ kW}$
10°C (maskinkjøling)	$0,5 * (121 + 40) = 80 \text{ kW}$

Det er viktig å merke at i dag driftes bygningens kjølesystem ikke optimalt (Erichsen & Horgen A/S, 2011), derfor kan utkoblingspotensialet som er anslått i Tabell 15 Teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet tilknyttet kjølesystemet bli mye begrenset i fremtiden ved innføring av energieffektiviseringstiltak.

4.3.5 Sirkulasjonspumper

Sirkulasjonspumper kan ikke legges ut fullstendig på grunn av at det er forbudt å ha stillestående vann i det vannbårne varmesystemet. Men det kan være mulig å regulere turtall på motorene og dermed senke/øke effektuttak.

Verken installert effekt eller elektrisitetsforbruk til sirkulasjonspumpene i høghskolen er kjent. Fra (Erichsen & Horgen A/S, 2011) er det kjent at pumpen som distribuerer varme til IA-bygget har motoreffekt på 0,55 kW og pumpe som distribuerer kjøling til IA-bygget har motoreffekt på 2,2 kW. Det betyr at den installerte effekten til sirkulasjonspumpene i IA-bygget på 2921 m² er 2,75 kW, og ved oppskalering gir dette:

$$(2,75 * 30\ 000) / 2921 = 28\text{ kW}$$

På grunn av kravet om konstant vannsirkulasjon antas det at bare 20% av den installerte effekten kan nedreguleres. Dette utgjør:

$$28 * 0,2 = \mathbf{5\text{ kW}}$$

4.3.6 Andre installasjoner

Det ble også vurdert utkoblingspotensiale til UPS-anlegget og kontorutstyr. Det ble konkludert at per i dag kan ingen av dem bidra med betydelig fleksibilitet. Datautstyr i et enkelt kontor forbruker ca. 110 kW (Erichsen og Horgen A/S, 2011) og forbruk er sterkt innbundet i aktivitet.

UPS-en tar ut ca. 19 kW og har lagringskapasitet på 45 min. Utkoblingen er tilknyttet stor risiko for datatap fordi den medfører momentan stenging av alle systemer. Imidlertid, hvis man installerer en UPS med større kapasitet og tilpasser systemet slik at nedstenging ikke skjer, er det mulig å utnytte disse **19 kW** og lagringskapasitet som bidrag til samlet forbrukerfleksibilitet.

4.4 Oppsummering av resultater

Det teoretiske utkoblingspotensialet i høgskolebygningene er estimert til å være mellom 1107 – 1600 kW eller 37 – 53 W/m², se Tabell 16. Disse resultatene samsvarer ganske godt med den tidligere studien (Livik, 1997) hvor man fikk 57 W/m² potensiale for effektreduksjon i skolebygninger med el-kjel (se punkt 1.3.1).

Tabell 16 Potensiale for forbrukerfleksibilitet i Høgskolen i Østfold. Tilgjengelig i arbeidsdager med undervisning mellom kl. 7 – 16.

Utkoblingsvarighet	30 min	1 time	langvarig
$T_{ute} = -5^{\circ}\text{C}$	1600 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1492 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1293 kW elkjel erstattes av oljekjel
$T_{ute} = 0^{\circ}\text{C}$	1445 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1337 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper	1138 kW elkjel erstattes av oljekjel
$T_{ute} = 5^{\circ}\text{C}$	1287 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + frikjøling	1197 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + frikjøling	983 kW elkjel erstattes av oljekjel
$T_{ute} = 10^{\circ}\text{C}$	1215 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + maskinkjøling	1107 kW ventilasjon + lys (momentan) + elkjel + sirk. pumper + maskinkjøling	828 kW elkjel erstattes av oljekjel

Dette potensialet utgjør en stor andel av høgskolens totale belastning. F.eks. ved $T_{ute} = 0^{\circ}\text{C}$, når effekttoppen for høgskolen kan ligge rundt 2300 kW (se Figur 25), kan utkoblingspotensialet med 1 timers varighet utgjøre ca. 1337 kW, dvs. 58% av høgskolens totale belastning. Ved $T_{ute} = 5^{\circ}\text{C}$ kan effekttoppen ligge på 1500 kW (se Figur 25), mens utkoblingspotensialet kan utgjøre 1197 kW, dvs. 80% av belastningen. Årsaken er at det er el-kjelene som står for størstedelen av både utkoblingspotensialet og høgskolens belastning, og utkobling av el-kjelene medfører en kraftig reduksjon av elektrisitetsforbruk.

Med dagens drift vil el-kjelene normalt være slått av ved altfor lave temperaturer, derfor må driftsreglene endres for å utnytte utkoblingspotensialet ved $T_{ute} \leq -5^{\circ}\text{C}$.

Hvis det er lønnsomt å utnytte forbrukerfleksibilitet kan potensialet økes ved å øke kapasitet på noen installasjoner, f.eks. installere større varmtvannstanker for å øke varmelagringskapasitet, installere en større UPS-enhet. Bruk av energilagere og batterier vil også bidra til å øke fleksibiliteten.

4.5 Usikkerhet

De estimatene som man fikk er basert på generell datagrunnlag og teoretiske antakelser om elektriske belastninger i høyskolebygningene. For å få mer nøyaktige estimer behøves det en mer fordypende undersøkelse av belastninger og en langvarig måling av enkelte installasjoner.

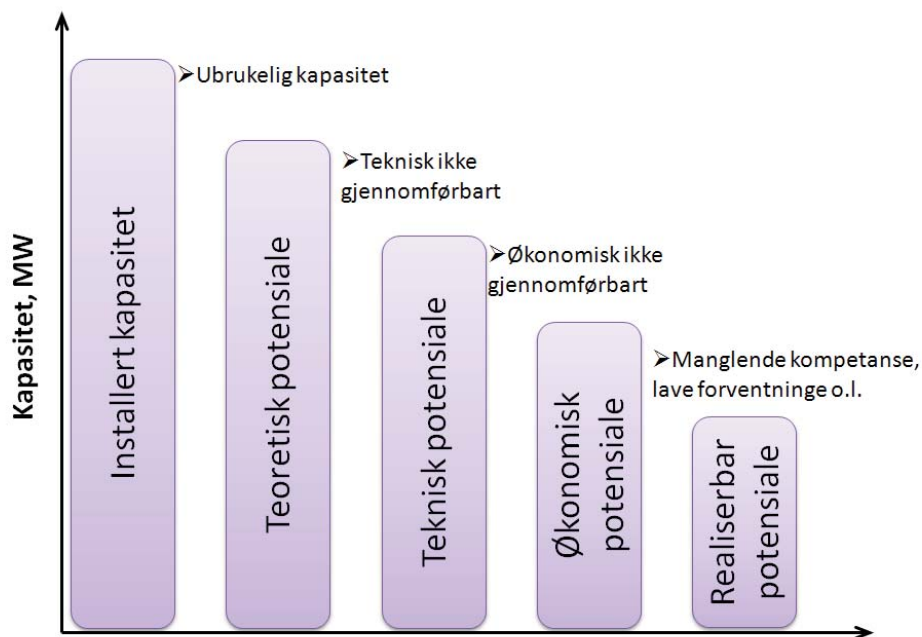
Den største usikkerheten rundt det estimerte potensialet er tilknyttet diskrete profiler av termiske laster. El-kjelen, som er hovedkilde for fleksibilitet, vil i praksis slås av og på regulert av en termostat, og utkoblingspotensialet vil være utilgjengelig i små perioder. Det samme gjelder for kjølemaskinene. Dette problemet er nevnt i Kapittel 2.4.3. En måte å håndtere usikkerheten på er å tidsinnstille inn- og utkoblinger av de tre el-kjelene og de tre kjølemaskinene i energisentralen slik at de ikke inntreffer samtidig. Hvorvidt dette er teknisk realiserbar må imidlertid undersøkes nærmere.

Det er noe usikkerhet om utkoblingspotensialet tilknyttet kjølesystemet. Estimatet er basert på dagens drift med dårlig energieffektivitet, og ved innføring av energieffektiviseringstiltak vil potensialet reduseres.

På lang sikt er det usikkert om oljekjelene vil forbli en brenselfyrt reserve fordi det er satt et mål å utfase dem før 2014. Oljekjelene vil sannsynligvis erstattes av fjernvarme eller bioenergi, og bruksmønsteret til energisentralen kan bli fullstendig endret.

4.6 Diskusjon

Verdiene beregnet her representerer det teoretiske potensialet for forbrukerfleksibilitet. I praksis, på grunn av ulike barrierer vil dette potensialet bli betydelig redusert. Som Figur 32 viser, vil potensiale for forbrukerfleksibilitet som er teknisk mulig å implementere utgjøre en mindre andel av det teoretiske potensialet. Videre vil tilstedeværelse av økonomiske insentiver og lønnsomhetsvurderinger bestemme det økonomiske potensialet. Til slutt vil ulike barrierer knyttet til holdninger, forståelse av konseptet og kompetanse bestemme det potensialet som skal realiseres.



Figur 32 Typer av potensiale for forbrukerfleksibilitet (Grein & Pehnt, 2011)

For å finne det potensialet for forbrukerfleksibilitet som kan realiseres må man gjennomføre en mer fordypende analyse i høgsolen. Her vil det presenteres noen generelle vurderinger av realiserbarhet.

4.6.1 Teknologiske aspekter

Det er en fordel for høgsolen å ha et SD-anlegg med styrefunksjoner. SD-anlegget sørger for en enkel skiftning mellom olje og elektrisitet til kjelene, styring av ventilasjon og belysning i fellesarealer, settpunkt for oppvarming og kjøling. Imidlertid, for å realisere mer komplisert styring som f.eks. sentralt styrt lysdimming, styring av turtall på vifte- og pumpemotorer, rullerende utkoblinger av ventilasjonsaggregater, kan det behøves en oppgradering av SD-anlegget.

Det kan tenkes ulike utkoblingsstrategier for høgsolenbygningene. En mulig strategi er å utføre utkoblinger i flere trinn, hvor det første trinnet vil f.eks. legge ut mindre viktige enheter og påfølgende trinn vil legge ut viktigere enheter. Denne strategien vil kunne kombineres med prissetting av forskjellige trinn, og da kan man få en forbrukerfleksibilitets kurve som vist på Figur 23. Denne strategien egner seg godt for å delta i f.eks. spotmarkedet og regulerkraftmarkedet.

En annen strategi kan være å øke/senke settpunkt for oppvarming/kjøling (en pilottest beskrevet under punkt 2.2.4). Hvis man f.eks. senker oppvarmingssettpunktet om vinteren fra 20°C til 19°C, vil dette medføre automatisk reduksjon av effektuttak til el-kjelene, ventilasjonsmotorer og pumpemotorer. Tilsvarende ved å øke kjølesettpunkt fra 22°C til 23°C vil det redusere effektuttaket til ventilasjonsmotorer og kjølemaskinene/tørrekjølerviftene med tilhørende pumper. Denne strategien er velegnet for deltakelse i prisbaserte ordninger, f.eks. når man trenger å tilpasse sitt

forbruk til høyprisperioder definert i nettleieavtale eller kraftkontrakt. En fordel med denne strategien er at den er enkel å gjennomføre, til og med med dagens styringssystem. Mulige ulemper kan oppstå hvis bygningsbrukere blir misfornøyde med temperaturendringer.

4.6.2 Økonomiske aspekter

Investeringskostnader

Lønnsomheten av investeringer i styringskomponenter bestemmes av påførte kostnader mot gevinster som oppnås ved å selge/utnytte forbrukerfleksibiliteten. Noen tiltak er billig å implementere, og de frigjør mye effekt, f.eks. det er teknisk enkelt å gå over fra el-kjelene til oljekjelene. Andre tiltak krever betydelige investeringer i teknologi, f.eks. dimming av lys, styring av pumpe- og viftemotorer (særlig hvis man velger frekvensstyring). Det er viktig å avveie kostnader og teknologivalg mot den frigjorte effekten, og de billigste og mest lønnsomme investeringene må gjøres først. F.eks. vil styring av sirkulasjonspumpene ikke stå først på listen fordi den frigjør bare 5 kW effekt og krever installasjon av styring på et stort antall små enheter.

Det finnes ikke bare investeringskostnader i forbrukerfleksibilitet, men også «driftskostnader». F.eks. ved overgang fra el-kjelene til oljekjelene vil driftskostnadene være knyttet til oljeforbruk, og oljeutgifter må derfor hensynstas ved vurdering av lønnsomheten. Avsavsverdi ved manglende energitjeneste kan også betraktes som en driftskostnad, f.eks. hvis brukere aksepterer en viss nedgang i komfort mot en økonomisk gevinst. I tilfelle med en utdanningsinstitusjon er det imidlertid tvilsomt at studenter vil akseptere ubehagelig inneklima fordi de ikke har noen forhold til høskolens energiutgifter.

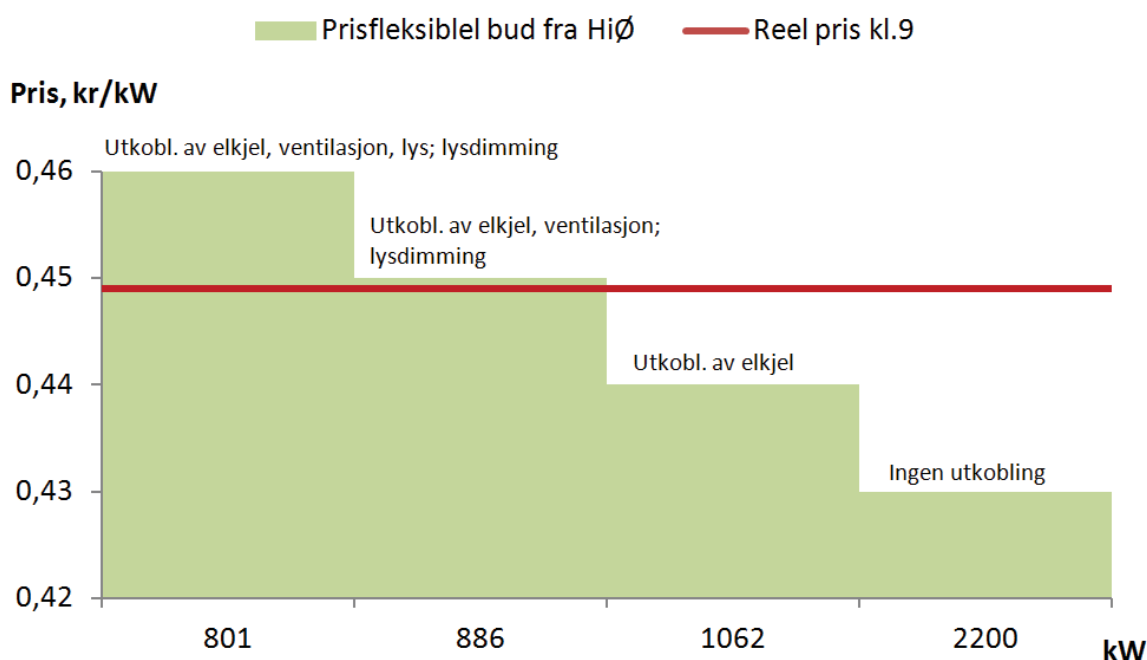
En annen viktig problemstilling i forbindelse med investeringsspørsmålet er gevinstallokering. Investeringer i teknologiske løsninger for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet vil bæres av Statsbygg som er driftsansvarlig for høskolebygningene. Gevinster tilknyttet forbrukerfleksibilitet kunne imidlertid havne hos høskolen som betaler elektrisitetsregninger. For å løse dette problemet kan det utvikles en spesiell avtale som avklarer forhold mellom Statsbygg og leietakeren slik at nytte og kostnader fordeles rettferdig.

Økonomiske insentiver

Gevinsten ved utnyttelse av forbrukerfleksibilitet bestemmes av ordninger man kan delta i. Beskrivelse av mulighetene for utnyttelse av forbrukerfleksibilitet som finnes i Norge er gitt i Kapittel 3.1. Det finnes muligheter å få gevinst av høskolens forbrukerfleksibilitet allerede i dag.

Høskolen er en stor forbruker. Analyse av timesforbruk av elektrisitet i årene 2008, 2009 og 2010 viste at det bare var 4 timer med elektrisitetsforbruk under 100 kWh/h. I resten av tid ligger

forbruket over 100 kWh/h, og dette tilsier at Høgskolen kan direkte **delta i Elspotmarkedet** som krever minstekvantum for en bud lik 0,1 MW. Det er mange fordeler tilknyttet deltakelse i Elspot sammenlignet innkjøp av kraft fra kraftleverandører, som f.eks. lavere energiutgifter fordi strømmen vil innkjøpes til spotpris og muligheter for risikostyring via prissikring i det finansielle markedet. Forbrukerfleksibilitet kan innarbeides i prisfleksible etterspørselsbud via prissetting av ulike utkoblingstrinn (som beskrevet ovenfor og under punkt 3.2.4). Figur 33 viser et tenkt eksempel av et prisfleksibelt bud fra Høgskolen. Eksempelet er basert på det faktiske forbruket til høgskolen og den reele spotprisen på 0,449 kr/kW som inntraff 8. november 2010 kl. 9:00.



Figur 33 Eksempel på et prisfleksibelt bud om strøminnkjøp med hensyn til den beregnede fleksibiliteten i Høgskolen i Østfold.

Det faktiske forbruket til HiØ kl. 9 utgjorde 2200 kW. Om man har vært aktør i Elspot og har benyttet sin forbrukerfleksibilitet, ville man ha kjøpt bare 886 kW til denne prisen.

Å være aktør i Elspot krever imidlertid betydelig kompetanse, kunnskap om å lage forbruksprognoser og bruk av spesielle IT-verktøy (det som er i dag kraftleverandørens ansvar). Et alternativ for Høgskolen kan være å overlate innkjøp av strøm til spesialiserte energiforvaltningsselskaper.

En annen mulighet for Høgskolen er å selge fleksibiliteten til **system- og balansetjenester via en aggregator** (beskrevet under punkt 3.2.1). Forbrukere med el-kjeler representerer en kundegruppe som er av stor interesse for aggregatoren fordi lastvolumet er stor nok og styringsteknologi er allerede på plass. Med dagens muligheter kan potensialet for forbrukerfleksibilitet selges som regulerkraft i det aktuelle Elspotområdet (NO1 i dette tilfelle), brukes til spesialregulering eller

selges i form av energiopsjoner. I fremtiden kan det også bli mulig å utnytte forbrukerfleksibilitet som roterende reserve til primærregulering. Hvilken andel av det teoretiske potensialet tilgjengelig i Høgskolen kan utnyttes allerede i dag bør undersøkes nærmere i samarbeid med aggregatoren.

Det finnes også en mulighet for høgskolen å inngå en *nettleieavtale for uprioritert overføring*. Høgskolens nettselskap Fortum tilbyr to slike produkter – ULM og UL10. Overgiant til en av disse tariffene vil gi høgskolen betydelige besparelser i nettleien.

På lengre sikt vil det sannsynligvis komme flere *prisbaserte ordninger* hvor Høgskolen kunne delta i, dvs. kraftkontrakter og nettariffer med timesdifferensiering. Allerede i dag tilbyr enkelte kraftleverandører og nettselskaper slike avtaler, og installering av AMS hos alle sluttbrukere innen 2017 vil sette fart på denne utviklingen. For et byggekompleks med SD-anlegg som Høgskolen i Østfold vil det være en god løsning å optimere timesforbruk ved å programmere utkoblinger i SD-anlegget. Dette har allerede blitt utprøvd i en pilottest gjennomført i Tambartun kompetansesenter som også eies og driftes av Statsbygg. Tilpasning av forbrukskurven ved roterende inn-/utkoblinger av ulike elektriske kurser via SD-anlegg var innstilt for å minimalisere kostnader ut fra nettariff og kraftavtale. Pilottesten resulterte i en forbruksreduksjon som ga ca. 10% besparelse i nettleien. (Grande, 2007) Teknologiske løsninger for å få prisinformasjon er allerede på plass i Norge, som beskrevet i punkt 3.1.4.

Når det er flere ordninger man kan delta i, er det viktig å se på samspill mellom ulike ordninger. Enkelte programmer kan kollidere med hverandre på den måten at når potensialet for forbrukerfleksibilitet er brukt opp innenfor en ordning, vil det ikke være noe igjen for en annen ordning. F.eks. hvis man har en døgnvariabel nettleieavtale og tilpasser sine effekttopper til høypris- og lavpristimer, vil det redusere muligheter å samtidig selge forbruksreduksjoner som regulerkraftopsjoner eller energiopsjoner. Forbrukerfleksibilitet som utnyttes systematisk for å flate ut lasttopper blir i prinsippet utilgjengelig for salg i form av system- og balansetjenester.

Et annet eksempel på en kollisjon mellom ordninger er nettariff for fleksibelt forbruk og deltakelse i RKOM. Nettleieavtale for fleksibelt forbruk er en ny avtaleform mellom Statnett og nettselskap innført i 2012 som erstattet den gamle tariffen om utkoblbart forbruk. Kunder som får denne tariffen fra sitt nettselskap vil ikke ha mulighet til å delta i opsjonsmarkedet for regulerkraft.

Ved å vurdere deltakelse i markedsordninger bør holdninger av bygningsbrukere og høgskolens profil hensynstas. Høgskolebygningene skiller seg fra andre næringsbygg ved at de benyttes til ukommersielle formål. Lastreduksjoner med sikte på inntjening kan skape reaksjoner hos studenter og ansatte, og eventuelt klager på forverring av innneklima. Økt bruk av olje som følge av el-kjelenes utkoblinger kan skade Høgskolens grønne profil. Der er derfor viktig å gjennomføre en

grundig informasjonskampanje og informere alle om miljøgevinster og samfunnsøkonomisk nytte ved utnyttelse av forbrukerfleksibilitet.

4.6.3 Oppsummering for bygningskategori «høgskole/universitet»

Høgskolen i Østfold har et typisk energisystem for høgskolebygninger. Ifølge SSB, har 70% av universiteter og høgskoler i Norge et sentralvarmeanlegg. (SSB, 2009) I alt har 50% av næringsbygg innenfor tjenesteytende næring sentralvarmeanlegg, og rundt halvparten av disse benytter elektriske kjeler (se punkt 2.1.2).

I 2011 var det samlede arealet for institusjoner innenfor høyere utdanning i Norge lik 3,246,902 m² (DBH, 2011). Antar man at 70% av dem har et sentralvarmeanlegg, og halvparten av disse har et lignende system som Høgskolen i Østfold, vil det totale potensialet for forbrukerfleksibilitet utgjøre opp til:

$$3\,246\,902\text{ m}^2 * 0,7 * 0,5 * 53\text{ W/m}^2 = \mathbf{60\text{ MW}}$$

Basert på analysen av Høgskole i Østfold, kan det konkluderes at høgskolebygninger vil ha en rekke fordeler når det gjelder utnyttelse av forbrukerfleksibilitet. Før det første, har man stor areal og mange elektriske laster mens det er bare enn økonomisk aktør som vil få nytte av fleksibiliteten. For det andre, har man et SD-anlegg med allerede innebygde styringsfunksjoner. For det tredje, er belastningen ofte fordelt på flere installasjoner, som f.eks. ventilasjonsaggregater i Høgskolen i Østfold, og dette muliggjør utvikling av smarte styringsstrategier med rullerende utkoblinger og samspill mellom flere enheter.

Imidlertid vil det også være en rekke ulemper tilknyttet ukommersiell karakter av den offentlige utdanningsinstitusjonen, aksept hos studenter og ansatte, fordeling av investeringskostnader mellom høgskolen og bygningseieren.

4.7 Konklusjon og forslag til videre arbeid

Det er blitt beregnet det teoretiske potensialet for forbrukerfleksibilitet i Høgskolen i Østfold, Høgskolesenteret i Halden. Avhengig av utkoblingsvarighet og utetemperatur kan potensialet utgjøre mellom 1107 – 1600 kW, og størstedelen av dette skyldes utkoblingen av el-kjelene i energisentralen.

Estimatene er knyttet betydelig usikkerhet, og videre arbeid behøves for å konkretisere informasjonen og tallfeste det realiserbare potensialet. Forslag til videre arbeid:

- logger på de elektriske installasjonene
- prøveutkoblinger av installasjonene
- kartlegging av teknologiske barrierer
- kartlegging av økonomiske barrierer
- avklaring av forhold mellom Statsbygg og HiØ i forbindelse med utnyttelse av fleksibilitet
- lønnsomhetsberegninger tilknyttet utnyttelse av fleksibilitet
- kartlegging av menneskefaktorer som har betydning

Referanseliste

Abrahamsen, A.S., Bergh, M. (2008). *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet.* Statistisk sentralbyrå, Oslo–Kongsvinger.

Albadi, M.H., El-Saadany, E.F. (2008). A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 78 (2008).

Alvarez, C., Gabaldon, A., Molina, A., (2003). Assessment and Simulation of the Responsive Demand Potential in End User Facilities: Application to a University Customer. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, No. 2, May 2004.

Arbeidstilsynet. (2006). *Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen.* Veiledning, best.nr. 444, nedlastet i april 2012 fra: <http://www.arbeidstilsynet.no/binfil/download2.php?tid=79437>

Arteconi, A., Hewitt, N.J., Polonara, F. (2012). State of the art of thermal storage for demand-side management. *Applied Energy* 93 (2012), s. 371 – 389.

Darby, S. (2009). *Demand response: the effectiveness of feedback on energy consumption* (presentasjon). University of Oxford, Environmental Change Institute.

Davito, B., Tai, H., Uhlaner, R. (2010). *The smart grid and the promise of demand-side management.* McKinsey on Smart Grid, s. 38 - 44.

DBH. (2011). Arealdata fra database for statistikk om høyere utdanning. Nedlastet i april 2012 fra: http://dbh.nsd.uib.no/dbhvev/areal/areal_rapport.cfm

Enova. (2010). *Byggstatistikk.* Nedlastet i mars 2012 fra: <http://www2.enova.no/publikasjonsoversikt/publicationdetails.aspx?publicationID=594>

Erichsen & Horgen A/S. (2011). *Kjøling i bygg.* Prosjektdokumentasjon.

Ericson, T., Halvorsen, B., Hansen, P.V. (2009). *Hvordan påvirkes husholdningenes strømpris av endret spotpris?* Økonomiske analyser 2/2009.

Eto, H.J. (2007). *Demand Response Spinning Reserve Demonstration.* Lawrence Berkeley National Laboratory, USA.

Grande, O.S. (2007). *Forbrukstilpasning Tambartun. Pilot i prosjektet "Markedsbasert forbrukstilpasning".* Arbeidsnotat 07.12.41. SINTEF Energiforskning, Trondheim.

Grande, O.S., Solem, G., Sæle, H. (2007a). *Lavprioritert forbruk som ressurs for netteier og kraftmarkedet.* SINTEF Energiforskning, Trondheim.

Grande, O.S., Solem, G., Sæle, H. (2007b). *Økt priselastisitet hos husholdningskunder. Kunderespons og endring i forbruksmønster i pilottester.* SINTEF Energiforskning, Trondheim.

Grande, O.S., Sæle, H., Graabak, I. (2008). *Market Based Demand Response. Research Project Summary.* SINTEF Energiforskning, Trondheim.

Grande, O.S., Sæle, H., Morch, A.Z. (2002). *Forbrukerfleksibilitet: Status og utfordringer.* SINTEF Energiforskning, Trondheim.

- Grein, A., Pehnt, M. (2011).** Load management for refrigeration systems: Potentials and barriers. *Energy Policy* 39 (2011), s. 5598–5608.
- Haug, T., Nygård, S.A., Vatne, M., Wiik, K.H. (2006).** *Markedsbasert forbrukstilpasning ved HiT - del 2*. Rapport fra 6. semesters prosjekt i Elkraftteknikk, Høgskolen i Telemark.
- Hveem, P., Hanssen, R.A. (2000).** *Utkoblingspotensiale i boliger og yrkesbygg*. Publikasjon nr. 424-2000, EnFO, Trondheim.
- Hveem, P., Hanssen R.A. (2001).** *Effektreguleringspotensiale i alminnelig forsyning*. Publikasjon nr. 02-2001, Entro Energi AS.
- IEA. (2002).** *Market participants' views towards and experiences with Demand Side Bidding*. International Energy Agency Demand-Side Management Programme, Task VIII: Demand-Side Bidding in a Competitive Electricity Market.
- IEA. (2006).** *A Practical Guide to Demand-Side Bidding*. International Energy Agency Demand-Side Management Programme, Task VIII: Demand-Side Bidding in a Competitive Electricity Market.
- IEA. (2008).** *Worldwide Survey of Network-driven Demand-side-Management Projects*. Research report No 1, Task XV, Demand Side Management Program.
- Lislebø, O., Renée Naper, L., Havskjold, M., Bakken, E. (2011).** *Nettplan Stor-Oslo: Alternativer til nettutbygging. En potensialstudie for Oslo og Akershus*. X-ergia, Sandvika & EC-group, Trondheim.
- Livik, K. (1997).** *Fleksibelt energimarked: effektreserve hos sluttbruker*. EnFO, Trondheim.
- Meland, P., Tjeldflåt, A., Wahl, T.S. (2006).** *Forbrukerfleksibilitet i det nordiske kraftmarkedet*. NVE, Oslo.
- Moreau, A. (2011).** Control Strategy for Domestic Water Heaters during Peak Periods and its Impact on the Demand for Electricity. Hydro-Quebec's Research Institute. *Energy Procedia*, Vol. 12 (2011), s. 1074–1082.
- Newsham, G., Donnelly, S., Mancini, S., Marchand, R., Lei, W., Charles, K., Veitch, J. (2006).** *The Effect of Ramps in Temperature and Electric Light Level on Office Occupants: A Literature Review and a Laboratory Experiment*. Nedlastet i mars 2012 fra: http://www.eceee.org/conference_proceedings/ACEEE_buildings/2006/Panel_4/p4_22/paper
- Nilsson, H. (2007).** *Demand Side Management (DSM) – A renewed tool for sustainable development in the 21st century. A survey of the concept, its development and its applications*. IEA DSM, Sverige.
- Nordel. (2006).** *Enhancement of Demand Response. Final status report by Nordel Demand Response Group*. Nedlastet i april 2012 fra: <http://fourfact.com/images/uploads/Nordel-DR.pdf>
- NVE. (2003).** *Forbruksutvikling 2002 – 2003*. Oppdragsrapport no. 9. Nedlastet april 2012 fra: <http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner%202003/Oppdragsrapport%20A%202003/Rapport%20ok%20Forbruk%202002-2003.pdf>
- NVE. (2008 – 2011).** *Leverandørskifterapporter*. Hentet mars 2012 fra: <http://www.nve.no/no/Kraftmarkedet/Analyser/Leverandorskifter/>

NVE. (2011). *Energistatus*. Nedlastet i mars 2012 fra:

www.nve.no/no/Energi/Analyser/Energistatus/

Ottesen, S.Ø. (2012). *The aggregator as a link between demand side flexibility and the power system and power market*. Arbeidsnotat til doktoravhandling. NTNU, NCE Smart Energy Markets.

Piette, M.A., Watson, D., Motegi, N., Kiliccote, S., Berkeley, L. (2006). *Automated Demand Response Strategies and Commissioning Commercial Building Controls*. National Conference on Building Commissioning.

REMODECE. (2008). *Ny kunnskap om fordeling av strømforbruket*. Nedlastet i mars 2012 fra SINTEF Energiforskning: <http://www.sintef.no/SINTEF-Energi-AS/Xergi/Xergi-2008/Nr-2---september/Ny-kunnskap-om-fordeling-av-stromforbruket/>

Raaen, J.A. (2011). Gjeste forelesning om Enfo Energy AS på UMB 10. november 2011.

Sand, K. (2011). *Gir smartere løsninger bedre forsyningssikkerhet? - Er "Smart grid" løsningen på bedret forsyningssikkerhet?* SINTEF Energi, Trondheim. Hentet mars 2012 fra NVE, Energidagene 2011: <http://www.nve.no/PageFiles/13083/Sesjon%208/Kjell%20Sand.pdf>

SSB. (2001). *Boliger, etter byggeår og oppvarmingssystem*. Statistikkbanken.

SSB. (2009). *Oppvarmingsutstyr i næringsbygg i tjenesteytende næringer*. Nedlastet i april 2012 fra: <http://www.ssb.no/entjeneste/tab-2009-10-13-02.html>

SSB. (2011a). *Energiforbruk i husholdninger, 2005-2009*. Nedlastet i mars 2012 fra: <http://www.ssb.no/magasinet/miljo/ttab-2011-06-17-02.html>

SSB. (2011b). *Om lag 1,5 millioner boligbygg*. Bygge- og anleggsvirksomhet. Nedlastet i februar 2012 fra: <http://www.ssb.no/vis/emner/10/09/bygningsmasse/main.html>

Stadler, I. (2007). Power grid balancing of energy systems with high renewable energy penetration by demand response. *Utilities Policy* 16 (2008), s. 90 – 98.

Statnett, (2009). *Systemtjeneste- og markedsutviklingsplan*. Nedlastet i april 2012 fra: www.statnett.no/Documents/Kraftsystemet/Systemansvaret/SMUP%202009.pdf

Statnett. (2010). *Pristopper*. Nedlastet i april 2012 fra: http://www.statnett.no/Documents/Nyheter_og_media/Nyhetsarkiv/Vedlegg%20til%20nyhetssaker/vedlegg%202010/Pristopper2010.pdf

Statnett. (2011). *Smart Grid og Statnett: På hvilken måte bør Statnett fokusere på Smart Grid i det videre arbeidet ved utviklingen av fremtidens kraftnett?* Rapport fra studentprosjekt. Nedlastet i april 2012 fra: <http://www.statnett.no/no/Jobb/Studenter/Prosjekt-i-Statnett-2009/>

Sæle, H. (2005). *Markedsbasert forbrukstilpasning. Forstudie*. Publikasjon nr. 192. SINTEF Energiforskning, Trondheim.

Sæle, H., Grande O.S. (2010). Demand Response from household customers: experiences from a pilot study in Norway. *IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 2, No. 1, March 2011*.

Torriti, J., Hassan, M.G., Leach, M. (2009). Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. *Energy* (2009), s.1-9.

VTT. (2007). *DSM experiences in Nordic countries*. TAIEX Workshop on Demand Side Management in Energy Efficiency.

Walawalkar, R., Fernands, S., Thakur, N., Chevva, K.R. (2010). Evolution and current status of demand response (DR) in electricity markets: Insights from PJM and NYISO. *Energy 35 (2010) s. 1553–1560*.

Statnett: www.statnett.no

Nordpool: www.nordpoolspot.com

Høgskolen i Østfold: www.hiof.no

Fortum: www.fortumnett.no

Meteorologisk institutt: www.met.no

Vær i Norge: www.yr.no

TrønderEnergi Nett: www.tronderenerginett.no

Malvik Everk: www.malviknett.no

For Better Days: www.fbd.no

Istad Nett: www.istadnett.no

Vedlegg A. Utprøving av prisbaserte ordninger for forbrukerfleksibilitet i Norge

Nettariffer

TrønderEnergi Nett testet effekter av en døgnvariabel nettariiff hvor effektleddet ble avregnet som et gjennomsnitt av de tre høyeste timeverdiene i time 8-11 og 17-20 på hverdager i vinterperioden. (Grande, 2007) (Grande et al., 2008)

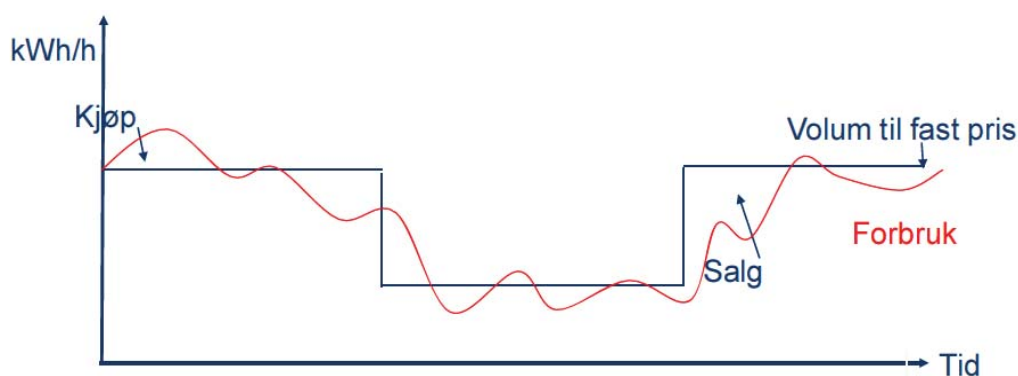
Malvik Everk testet en døgnvariabel nettariiff med et effektledd som er aktiv mellom kl.8 – 10 og kl. 17 – 19 i arbeidsdager hele året. (Sæle & Grande, 2010)

Også andre nettselskaper, Skagerak Nett og Buskerud Nett, har testet døgnvariable nettariffer, uavhengig eller i kombinasjon med kraftavtaler/fjernstyring av last. (Grande et al., 2008)

Alle forsøk påviste reduksjon i elektrisitetsforbruk i toppplastimer. Ingen av de overnevnte selskaper tilbyr døgnvariable nettariffer i dag.

Kraftkontrakter

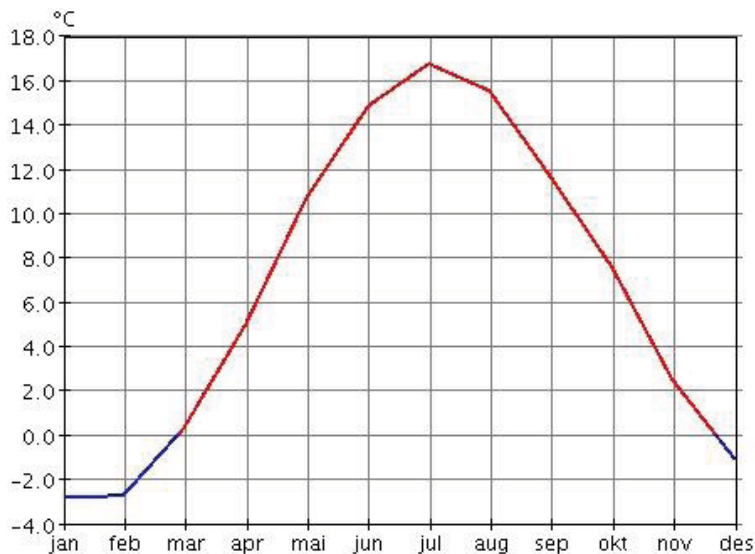
En kombinasjon av fastpris- og spotpriskontrakt ble testet av Trondheim Kraft (før Trondheim Energi Kraftsalg) som fikk navn «Fastpris med returrett». Prinsippet med den er illustrert på Figur 34: kunde kjøper et fast avtalt volum med prissikring for en periode på ett år, mens basis for avregning av virkelig forbruk er Nordpools områdepris. Hvis det faktiske forbruket er mindre enn det avtalte, får kunden en finansiell gevinst som er lik forbruksreduksjonen ganget med den reelle områdeprisen for den tilsvarende perioden. Dette oppfattes av kunden som å «selge strømmen tilbake». Ved økning av forbruk over den avtalte grensen taper kunden på innkjøp av ekstra kraft. Det lønner seg altså for kunden å redusere forbruket i perioder med høye priser, fordi da blir gevinsten større. Å øke forbruket i disse periodene blir i motsetning ekstra dyrt. (Grande et al. 2007 b).



Figur 33 Prinsippet av kraftkontrakten «Fastpris med returrett». Hentet fra (Sand, 2011).

Vedlegg B. Klimadata

Figur 35 viser temperaturnormaler for Halden klima.



Figur 35 Temperaturnormaler for Halden klima, 1961 – 1990.

Månedsmiddeltemperatur. Målestasjon no. 1200 i Halden, hoh. 10 m. Hentet fra Meteorologisk Institutt.

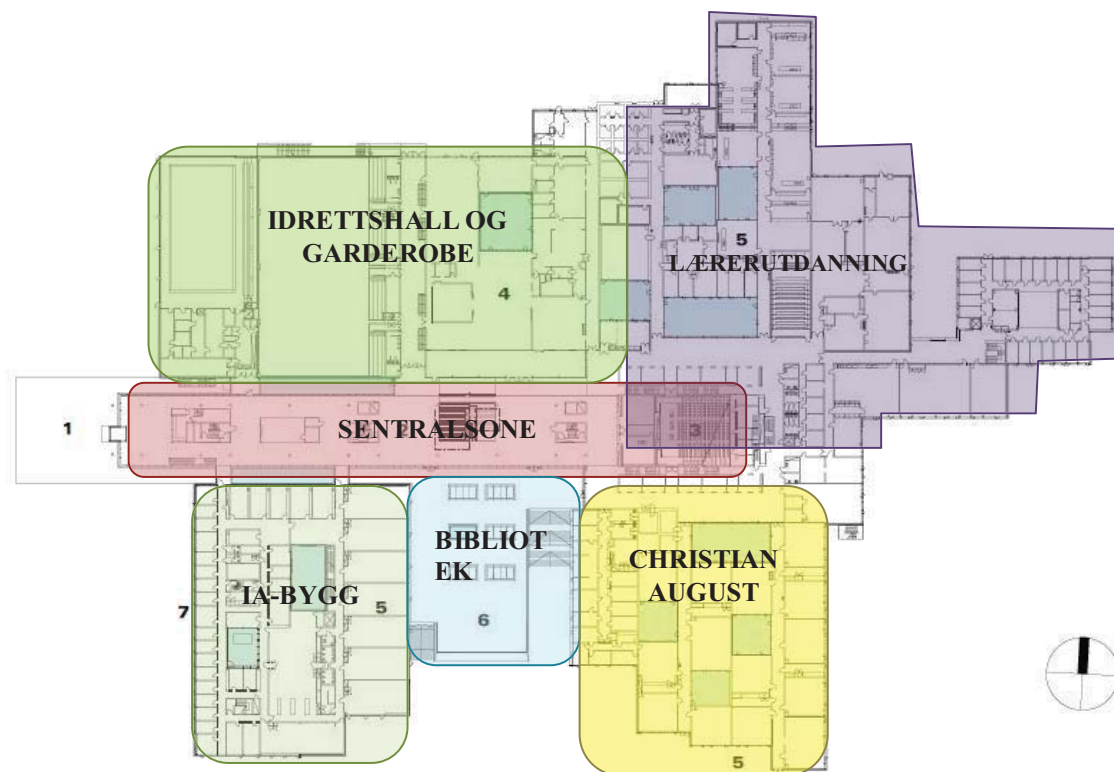
Døgntemperaturer i 2008 – april 2010 er hentet fra eKlima (www.met.no) og ble målt på Prestebakke stasjon no. 1130 i Halden. De brukes i Figur 24 og Figur 25.

Døgntemperaturer i 2011 er hentet fra www.yr.no og ble målt på Sarsborg stasjon no. 3190. De brukes i Figur 27 og Figur 29.

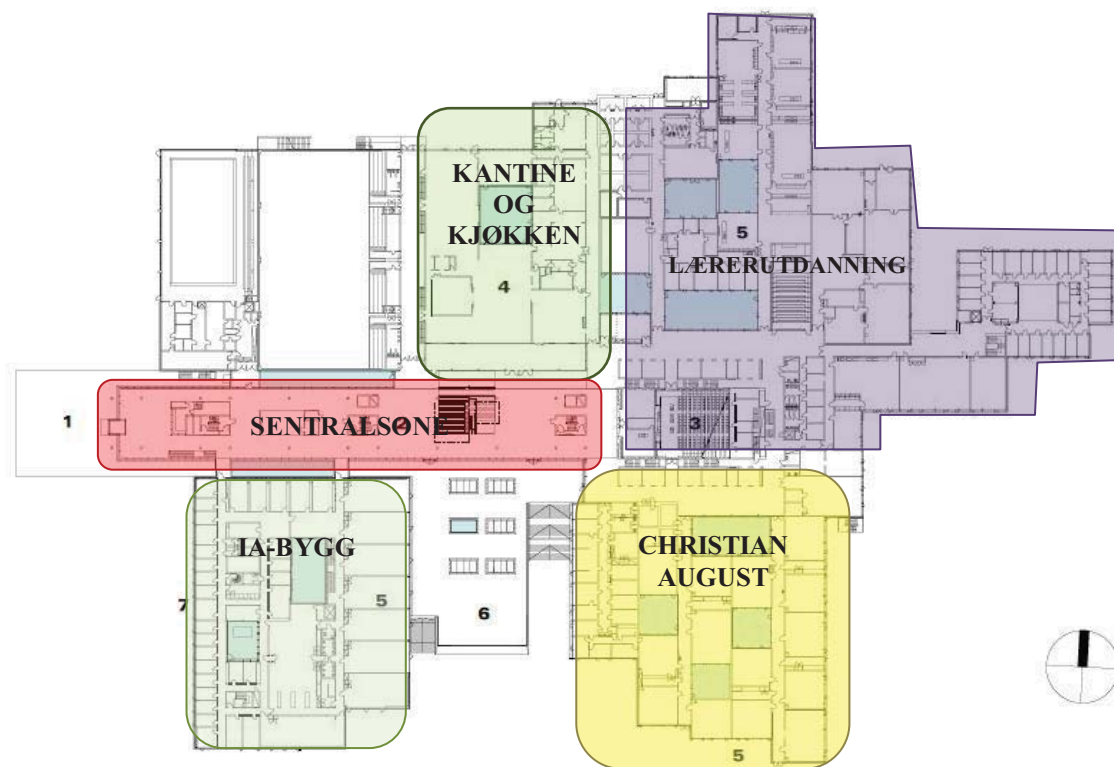
Utetemperaturer i enkelte timer i 2008 – 2010 er hentet fra et datasett som ble fått fra en masterstudent ved Høgskolen i Østfold. De brukes i beregningene for el-kjelene, se Vedlegg E.

Vedlegg C. Kart over Høgskolesenteret i Halden

Plan U1 og U2



Plan 01



Vedlegg D. Oversikt over ventilasjonsanlegg

System nr.	Areal	Installert motoreffekt, kW		Luftmengde, m ³ /h	Regulering
360.001	Auditorium plan U2	tilluftsvifte	15	25000	VAV
		avtrekksvifte	15	25000	
360.002	Sentralsonen, plan U2	tilluftsvifte	30	65000	VAV
		avtrekksvifte	18,5	45000	
360.003	IA-avdeling	tilluftsvifte	15*	38000	VAV
		avtrekksvifte	15	38000	
360.004	Bibliotek, plan U2	tilluftsvifte	15	26000	CAV**
		avtrekksvifte	15*	26000	
360.005	Christian August vest, plan U1	tilluftsvifte	6,9	15000	VAV
		avtrekksvifte	7,5	15000	
360.006	Christian August øst, plan U1	tilluftsvifte	15	26000	VAV
		avtrekksvifte	15	26000	
360.007	Chr. Aug/ Lærerutdanning, plan U1	tilluftsvifte	15	20000	VAV
		avtrekksvifte	15	20000	
360.008	Chr. Aug/ Lærerutdanning, plan U1	tilluftsvifte	15	25000	VAV
		avtrekksvifte	15	25000	
360.009	Kantine, plan 01	tilluftsvifte	15*	26000	CAV**
		avtrekksvifte	15*	26000	
360.010	Lærerutdanning, plan 01	tilluftsvifte	7*	15000	VAV
		avtrekksvifte	7*	15000	
360.011	Lærerutdanning, plan 01	tilluftsvifte	15*	25000	VAV
		avtrekksvifte	15*	25000	
360.012	Kjøkken, plan 01	tilluftsvifte	3*	8000	CAV
		avtrekksvifte	3*	8000	
360.013	Energisentral /hovedtavla	tilluftsvifte	3*	8000	CAV
		avtrekksvifte	1*	2500	

* Verdiene merket med stjerne manglet i den opprinnelige oversikten. Verdiene er anslått på basis av distribuert luftmengde.

** Ventilasjonssystemene 360.004 og 360.009 kan kjøres på to luftmengder etter innstilt driftstid.

Vedlegg E. Datagrunnlag for beregning av el-kjelenes forbruk

Beregningene er basert på enkelte timer med tilnærmet samme utetemperatur men forskjellige oppvarmingskilder – olje eller elektrisitet. Utvalget ble laget i henhold til følgende kriterier:

- bare timer mellom kl. 8 – 17 er tatt med;
- bare ukedager er tatt med, ikke helger;
- bare dager med undervisning og eksamenstid er tatt med, ikke ferietid. Til tross for at i eksamensperioden kan energibehovet være noe lavere enn i undervisningsperioden, behandles disse periodene likt her fordi ellers ville utvalget av dager som tilfredsstiller alle kriterier vært sterkt begrenset.

Timesforbruk til el-kjelene ble beregnet for hver utetemperatur som differanse mellom gjennomsnitt av kolonne 4 og kolonne 8.

Dager med bruk av el-kjelenene				Dager uten bruk av el-kjelenene				Gjennomsnittlig T _{ute}	El-kjelenene kWh/h
T _{ute}	Dato	Time	kWh/h	T _{ute}	Dato	Time	kWh/h		
-5,7	02.12.2009	9	2311	-5,8	11.02.2009	12	803	-6	1265
				-6	10.12.2008	11	1289		
-5,4	03.12.2009	9	2243	-5,4	10.12.2008	15	1296	-5	1250
-5,1	02.12.2009	10	2395	-5,1	11.02.2009	13	843		
-3,6	03.12.2009	10	2366	-4	10.02.2009	9	729	-4	1319
-3,9	02.12.2009	16	2049	-3,6	10.02.2009	8	580		
-3,9	02.12.2009	17	1506						
-3,4	02.12.2009	16	2127	-3,1	10.02.2009	14	806	-3	1332
-3,1	02.12.2009	12	2138	-3,2	10.02.2009	11	812		
-2,7	02.12.2009	15	2143	-3,2	10.02.2009	13	828		
-2,6	02.12.2009	13	2182	-3,2	10.02.2009	16	780		
				-3,2	10.12.2008	9	998		
				-3,1	09.12.2008	16	994		
				-3,1	10.12.2008	8	491		
-2,4	03.12.2009	11	2320	-2,3	12.12.2008	10	1146	-2	1340
-2,4	02.12.2009	14	2140	-2,3	09.02.2009	9	746		
				-2,3	09.02.2009	10	778		
-1,3	03.12.2009	12	2224	-1,3	09.12.2008	12	1061	-1	1153
-1,2	03.12.2009	16	2155	-1,3	09.12.2008	13	1123		
-1,2	03.12.2009	13	2110	-1,2	09.12.2008	14	826		
-1,3	03.12.2009	12	2224	-1,1	11.12.2008	16	990		
-0,7	01.12.2009	8	1622	-1,1	09.02.2009	12	802		
-0,8	01.12.2009	9	2281	-1	09.12.2008	11	1026		
				-1,2	09.12.2008	10	1051		
				-1,1	11.12.2008	11	1166		
				-1,1	09.12.2008	8	501		
-0,4	01.12.2009	10	2248	-0,3	04.12.2008	9	1964	0	946
-0,1	22.01.2008	9	2406	-0,3	09.02.2009	16	761		

-0,2	22.01.2008	7	882	-0,3	09.02.2009	17	721		
0	22.01.2008	17	1627	0,5	04.12.2008	7	588		
0,3	22.01.2008	10	2315	0,5	04.12.2008	15	715		
0,7	21.01.2008	17	1865	0,6	01.12.2008	15	1153	1	997
0,9	22.01.2008	16	2135	0,9	01.12.2008	17	958		
0,8	30.01.2008	10	2187	0,9	02.12.2008	17	993		
0,8	30.01.2008	9	2154	0,9	01.12.2008	10	1222		
0,8	30.01.2008	10	2187	0,8	01.12.2008	9	1133		
1	22.01.2008	11	2187	0,8	01.12.2008	11	1215		
				0,9	01.12.2008	12	1178		
1,6	22.01.2008	12	1516	1,6	02.12.2008	12	804	2	1133
1,7	21.01.2008	16	1722	1,7	02.12.2008	11	950		
1,8	22.01.2008	13	2152	1,7	03.12.2008	16	659		
1,8	22.01.2008	15	1987	1,9	02.12.2008	8	515		
1,9	30.01.2008	11	2120	2	02.12.2008	9	970		
2,2	30.01.2008	12	2007						
2,4	22.01.2008	14	1886						
2,7	30.01.2008	13	1898	2,8	03.12.2008	10	694	3	1090
2,8	21.01.2008	15	1778	2,8	03.12.2008	14	727		
2,9	30.01.2008	14	1751	2,8	03.12.2008	15	714		
2,9	06.02.2008	14	1841	2,9	03.12.2008	8	805		
2,9	06.02.2008	15	1886	2,9	03.12.2008	11	682		
2,9	06.02.2008	16	1858	3	03.12.2008	12	693		
2,9	06.02.2008	17	1655	3	03.12.2008	13	723		
3,9	19.10.2009	9	1851	4	28.10.2009	10	716	4	1069
4,5	05.02.2008	9	1757	4,4	28.10.2009	11	730		
3,9	06.02.2008	9	1756	4,1	28.10.2009	16	668		
3,8	06.02.2008	10	1843						
3,9	07.02.2008	15	1753						
3,8	07.02.2008	16	1682						
5,1	06.10.2009	8	1680	4,9	28.10.2009	12	754	5	952
5,3	19.10.2009	10	1720	5,4	28.10.2009	13	761		
5	20.10.2009	9	1671	5,2	28.10.2009	14	748		
				4,8	28.10.2009	15	689		

Datoene markert med inngår i eksamensperiode