

# Implementering av energi- og effektstyring av forbrukslaster

**Hans Magnus Kure**

Master of Science in Electric Power Engineering  
Innlevert: Juni 2012  
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for elkraftteknikk



## Oppgavetekst

Effekttopper kan skape problemer i både enkeltanlegg og i sentral-, regional og distribusjonsnett. Effekttoppene forekommer gjerne i faste tidsintervaller på hverdager og helger, og ved innføring av AMS kan det være aktuelt å innføre en strupefunksjon som kan bidra til å redusere disse effekttoppene.

Dagens styresystemer for struping av laster er designet for industrien, og det nærmeste man kommer styring i husholdninger er intelligente bygningsinstallasjoner for styring av lys og varme. Kan teknologien som er utviklet for bygningsinstallasjoner eller for industrien, benyttes for å oppfylle strupefunksjonens funksjonalitet?

Kandidaten skal:

- Undersøke hvilke tariffer som kan benyttes ved innføring av strupefunksjonen.
- Kartlegge og teste mulige styresystemer som finnes på markedet, og som kan benyttes for å oppfylle strupefunksjonens funksjonalitet.

Oppgaven gitt: 23. januar 2012

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen



## FORORD

Denne hovedoppgaven er utarbeidet våren 2012 og er et resultat av faget TET4910 Elkraftteknikk, masteroppgave. Hovedoppgaven er siste del av utdanningen ved NTNU og har tema innenfor fagområdet elektriske anlegg.

Hovedoppgaven er ingen direkte videreføring av fordypningsprosjektet ”*Strømforbruk i norske husholdninger*”, men det trekkes likevel sammenligninger mellom disse oppgavene i rapporten.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til veileder Eilif Hugo Hansen, for oppfølging og interessante innspill underveis i prosjektperioden. Han har i tillegg bidratt med sin kompetanse og kontaktnettverk innenfor intelligente bygningsinstallasjoner.

I tillegg vil jeg rette en stor takk til Tommy Raanes Hansen fra Siemens og Snorre Malvik fra Hager, som har bidratt med råd og kommentarer til de utallige forespørslene de har mottatt fra undertegnende.

**Sted:** Trondheim    **Dato:** 18.06.12

Hans Magnus Kure



## SAMMENDRAG

Denne hovedoppgaven tar for seg avansert måle- og styresystem (AMS) og innføringen av strupefunksjonen som skal kunne bryte og strupe effektuttaket i det enkelte målepunkt for å redusere effektuttaket ved perioder med knapphet i nettet. Formålet har vært å kartlegge og teste mulige styresystemer som finnes på markedet, og som kan benyttes for å oppfylle strupefunksjonens funksjonalitet. Det har i tillegg blitt sett på hvilke nettariffer som kan benyttes til å øke motivasjonen og fremheve nytteverdien for sluttbrukeren ved innføringen av AMS.

Det har vist seg at dagens nettariffer ikke er tilpasset bruken av strupefunksjonen, og det er nødvendig å innføre en nettariff som motiverer sluttbruker til å investere i en slik strupefunksjon, noe den tidsvariable nettariffen med energiledd gjør.

Strupefunksjonen innebærer å koble ut deler av forbrukslastene ved ulike utkoblingskriterier, for å redusere energi- og effektforbruket. De utkoblingskriteriene som er lagt til grunn er knapphet i overføringsnettet, forbruksmønster og effektforbruk. Gjennom arbeidet med kartleggingen av ulike styresystemer, har det vist seg at det finnes styresystemer som kan benyttes til å begrense effektuttaket, men disse tar kun høyde for maksimalt effektuttak hos sluttbrukeren.

Behovet for et styresystem som tar høyde for samtlige utkoblingskriterier var til stede, og det ble utviklet et styresystem basert på teknologi fra PLS og KNX. Gjennom målinger og lønnsomhetsberegninger har det vist seg at styresystemet gir et redusert energiforbruk og effektuttak i høylasttimer, og at det vil gi sluttbrukeren en økonomisk besparelse. Resultatene indikerer en reduksjon i energiforbruket på 1,6 kWh/døgn og en gjennomsnittlig respons på 1,1 kWh/h i høylasttimer. De økonomiske lønnsomhetsberegningene indikerer en total årlig besparelse på kroner 554,-. Resultatene inneholder noe usikkerhet, spesielt den årlige økonomiske besparelsen, grunnet faktorer som for eksempel måleperiodens lengde og nevnte feilkilder.





## ABSTRACT

This thesis deals with advanced metering and control system (AMC) and the implementation of a control function, which should be able to reduce the power outlet in each measurement point during periods of scarcity in the network. The objective has been to identify and test possible control systems on the market, which can fulfill the control function features, and discover which tariffs that can be used to increase the motivation and the utility value for the end users.

It has been shown that tariffs which are used today, is not adapted for the throttling function. It is therefore necessary to introduce a tariff that motivates end users to invest in such a function. A tariff that can motivate is the time-variable grid tariff with a energy component.

The control function involves disconnecting parts of the consumer loads at different criteria, to reduce energy and power consumption. The switching criteria are based on shortage in the transmission grid, consumption patterns and power consumption. It has been shown through the study of different control systems, that there are control systems that can be used to reduce the power consumption, but these only take into account the maximum power consumed by the end users.

There was need for a control system that was able to carry out the switching criteria, and therefore a new control system based on technology from PLC and KNX was developed. Measurements have shown that the control system provides a reduction of energy and power consumption in potential peak periods and profitability calculations, have shown that the end user achieves a reduction of the electricity expenses. The results indicate a reduction in energy consumption of 1.6 kWh/day and an average response of 1.1 kWh/h in high-load hours. The economic profitability calculations indicate a total annual savings of 554 NOK. The results contain some uncertainty, particularly the annual economic savings, due to factors such as measuring length and other sources of error.



---

# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>Forord</b> .....	<b>I</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>II</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Avanserte måle- og styresystemer</b> .....	<b>2</b>
2.1 Hva er AMS.....	2
2.1.1 <i>Norske krav til AMS</i> .....	3
2.2 Nytteverdien av AMS .....	5
2.2.1 <i>Økonomi</i> .....	5
<b>3 Tariffer</b> .....	<b>8</b>
3.1 Nettariffer.....	8
3.1.1 <i>Kraftanskaffelsesdel</i> .....	9
3.2 H3-tariffen.....	11
3.3 Aktuelle nettariffer .....	12
3.3.1 <i>Tidsvariabel nettariiff med energiledd</i> .....	12
3.3.2 <i>Tidsvariable nettariiffen med effekteledd</i> .....	13
<b>4 Reduserbart forbruk</b> .....	<b>14</b>
4.1 Utkoblbare forbrukslaster .....	14
4.1.1 <i>Varmtvannsbereder</i> .....	17
4.1.2 <i>Varmekabel</i> .....	19
4.1.3 <i>Elektriske ovner</i> .....	19
4.2 Utkoblingskriterier .....	20
4.2.1 <i>Forbruksmønster og spotprisutvikling</i> .....	20
4.2.2 <i>Effektforbruk</i> .....	23
4.2.3 <i>Knapphet i nettet</i> .....	24
<b>5 Styringsteknologier</b> .....	<b>25</b>
5.1 Kontaktorstyring .....	25
5.2 PLS.....	26
5.3 Buss-systemer .....	27
5.3.1 <i>KNX(/EIB)</i> .....	29
5.4 Beskrivelse av systemer og leverandører .....	33
5.4.1 <i>ABB</i> .....	33
5.4.2 <i>Siemens</i> .....	34
5.4.3 <i>Hager</i> .....	35
5.4.4 <i>Eaton</i> .....	36
5.4.5 <i>JUNG</i> .....	36
5.4.6 <i>Gira</i> .....	37

---

5.4.7 Smart styring.....	38
5.4.8 Andre leverandører.....	39
<b>6 Energi- og effektstyring .....</b>	<b>40</b>
6.1 Oppbygging av energi- og effektstyresystem.....	40
6.1.1 Valg av komponenter.....	42
6.1.2 Montasje av komponenter .....	45
6.2 Programmering.....	45
6.2.1 Oppsett av PLS.....	45
6.2.2 Oppsett av KNX system.....	48
<b>7 Utprøving av styresystem.....</b>	<b>53</b>
7.1 Målekriterier .....	53
7.2 Måleoppsett og måleprosedyre .....	53
7.2.1 Oppsett uten energi- og effektstyring.....	55
7.2.2 Oppsett med energi- og effektstyring .....	56
<b>8 Resultater .....</b>	<b>58</b>
8.1 Uten energi- og effektstyring.....	58
8.2 Med energi- og effektstyring .....	60
8.3 Sammenligning av energi- og effektforbruk.....	61
<b>9 Nytteverdi for sluttbruker .....</b>	<b>63</b>
9.1 Økonomisk lønnsomhet.....	63
9.2 Nytteverdi av AMS .....	64
<b>10 Diskusjon .....</b>	<b>65</b>
10.1 Nettariffer .....	65
10.2 Energi- og effektstyring .....	65
10.2.1 Styresystemet.....	66
10.3 Måleresultater .....	68
10.3.1 Feilkilder.....	69
10.4 Videre arbeid.....	69
<b>11 Konklusjon .....</b>	<b>71</b>
<b>Referanser .....</b>	<b>72</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>76</b>

# 1 INNLEDNING

Kraftmarkedet har de senere år hatt en presset kraftbalanse og overføringskapasitet, der effekttopper kan skape problemer i distribusjons-, regional- og sentralnettet. Innføringen av et avansert måle- og styresystem (AMS) setter blant annet krav til kunne bryte og strupe effektuttaket i det enkelte målepunkt for å redusere effektuttaket ved perioder med knapphet i nettet.

Strupearbeidet innebærer å koble ut deler av forbruket for å redusere energiforbruket og effektuttaket. AMS gir mulighet til å utføre denne strupearbeidet enten lokalt eller sentralt ved hjelp av toveiskommunikasjon. Med lokalt menes at sluttbruker har mulighet til å styre sine egne laster og med sentralt menes at for eksempel nettselskapet, kraftleverandøren, energikonsulenten, o.l. har mulighet til å styre sluttbrukerens laster.

Det finnes i dag ulike styresystemer innenfor boliginstallasjoner, men de fleste styresystemene som finnes på markedet i dag er designet etter industriens behov. Det er derfor et behov for å kartlegge hvilke systemer som finnes på markedet, og som kan benyttes til å realisere strupearbeidet som blir beskrevet i *"forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester"*. Det er viktig at styresystemet ikke krever store endringer i det eksisterende elektriske anlegget, og at sluttbrukeren har mulighet til å oppnå en mulig økonomisk gevinst ved å implementere dette i sitt elektriske anlegg.

Denne rapporten har som formål å kartlegge og teste mulige styresystemer på markedet i dag, som kan benyttes for å oppfylle strupearbeidets funksjonalitet, samt hvilke som kan implementeres i en ordinær boliginstallasjon. Det skal også undersøkes hvilke nettтарiffer som kan benyttes ved innføring av AMS og den mye omtalte strupearbeidet.

## 2 AVANSERTE MÅLE- OG STYRESYSTEMER

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) kom med forslag til bestemmelser om et avansert måle- og styringssystem (AMS) i *"forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester"* 11.mars 1999 [1]. Forslaget har vært ute til høring to ganger siden 1999, og i juni 2011 kom en endelig forskriftstekst om bestemmelsene om AMS i Norge.

Norges vassdrags- og energidirektorat er underlagt olje- og energidirektoratet, og har ansvar for å forvalte vann og energiressursene i Norge. NVE har som formål å sikre en miljøvennlig forvaltning av Norges vassdrag, fremme en effektiv kraftomsetning, et kostnadseffektivt energisystem og tilstrebe en effektiv energibruk [2].

Formålet med AMS er å bidra til et mer samfunnsøkonomisk rasjonelt kraftmarked gjennom å legge til rette for en mer effektiv avregning, et mer effektivt leverandørbytte og en optimal tilpasning av forbruk og produksjon, noe som åpner muligheter for et mer fleksibelt og effektivt kraftmarked. [3]

### 2.1 Hva er AMS

Avanserte måle- og styresystemer er et system for toveiskommunikasjon som gjør det mulig for nettselskapene å fjernavlese måleverdien i den enkelte husholdningen. En konkret forbedring ved innføring av AMS vil være at strømforbruket vil avleses automatisk og at fakturering kan skje basert på faktiske timeverdier og ikke stipulert forbruk slik det er hos de fleste husholdninger i dag. En automatisk måleravlesning vil også hindre forbrukeren å oppgi mindre energiforbruk i den perioden hvor kWh-prisen er høy, som for eksempel ved lave gjennomsnittstemperaturer og lite nedbør, og et høyere forbruk i den perioden kWh-prisen er lav.

Fjernavlesning og fakturering basert på faktiske timeverdier, automatisk måleravlesning (AMR), er ingen ny teknologi og ble innført allerede i 1996 for alle målepunkter der forbruket var høyere enn 500 000 kWh/år [4]. Dette ble endret i 2005 til at alle målepunkt med et forventet forbruk på mer enn 100 000 kWh/år skulle ha installert utstyr for timemåling.

AMR innebærer at forbruket blir målt og registrert og at det sendes inn til nettselskapenes systemer via en eller annen kommunikasjonskanal. Måleverdiene kan lagres lokalt i terminalen eller i en konsentrator før de sendes inn til nettselskapets måleverdisystem. Kommunikasjon kan skje via strømmettet (lavspent eller høyspent), GSM, GPRS, SMS, radio eller via fastlinje (telefonlinje eller bredbånd).[5]

Kravet om AMR omfattet om lag 4 prosent av målepunktene i Norge. Det er i Norge registret 2,6 millioner målepunkter og kravet berørte derfor kun om lag 100 000

målepunkter. På grunn av forbrukernes størrelse tilsvarte dette 60 prosent av det norske kraftforbruket.

AMS og toveis kommunikasjon (TVK) kan beskrives som en forbedret utgave av AMR. AMS skal i tillegg til å fjernavlese timeverdier i målepunktene, kunne kommunisere med måleren ved å utveksle energirelatert informasjon mellom sluttbrukers terminal og netteier, samt at det gir mulighet til lokal og sentral laststyring.

AMS er en del av EUs 20-20-20-program og skal innføres innen år 2020 sammen med de generelle målene om miljøforbedring og energireduksjon. Norge har som en del av EØS-avtalen forpliktet seg til dette. EU arbeider med å utvikle standarder for AMS-utstyr som omhandler krav til kommunikasjon og funksjonskrav knyttet til tilleggstjenester. Dette arbeidet forventes å være ferdig i løpet av 2012. Den norske avregningsforskriften og krav fra EU vil samlet danne rammen for den norske innføringen av AMS. [6][7]

NVE har bestemt at AMS skal være installert i 80 prosent av målepunktene innen 1. Januar 2016, og 100 prosent innen 1. Januar 2017. Dette er 3 år tidligere enn kravene gjennom EØS-avtalen. Begrunnelsen for innføring av AMS, er at slik teknologi vil bidra til at nettselskapet og andre kan utføre sine tjenester og oppgaver mer effektivt og med høyere kvalitet enn i dag. AMS kan i tillegg gjøre det mulig å tilby nye tjenester i fremtiden, noe som krever at AMS nettet ikke kun blir dimensjonert for dagens krav og spesifikasjoner.

### **2.1.1 Norske krav til AMS**

I Norge gjelder forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester. Den har som formål å ”sikre at kraftleverandører gis tilgang til overføringsnettet og legge til rette for at sluttbrukere på en enkel måte kan bytte kraftleverandør”[3]. Forskriften ble sist endret 16.1.2012, men de nye bestemmelsene for AMS ble ikke implementert i denne utgaven av forskriften.

Kapittel 4 omhandler AMS, og skal bidra til korrekt avregning, nødvendig informasjon til styring av eget forbruk og økt mulighet for nettselskapet til å effektivisere driften av nettet, ofte kalt avregningsforskriften [1]. I følge forskriftsendringene av paragraf § 4-2, skal AMS ha følgende funksjonskrav [1]:

- a) lagre måleverdier med en registreringsfrekvens på maksimalt 60 minutter, og kunne stilles om til en registreringsfrekvens på minimum 15 minutter,
- b) ha et standardisert grensesnitt som legger til rette for kommunikasjon med eksternt utstyr basert på en åpen standard,
- c) kunne tilknyttes og kommunisere med andre type målere,
- d) sikre at lagrede data ikke går tapt ved spenningsavbrudd,

- e) kunne bryte og begrense effektuttaket i det enkelte målepunkt, unntatt trafomålte anlegg,
- f) kunne sende og motta informasjon om kraftpriser og tariffer samt kunne overføre styrings- og jordfeilsignal,
- g) gi sikkerhet mot misbruk av data og uønsket tilgang til styrefunksjoner og
- h) registrere flyt av aktiv og reaktiv effekt i begge retninger.

Når det gjelder § 4-2 punkt e, fremgår det gjennom kommentarer i forskrifteksten at AMS skal ha en strupefunksjon som kan fjernstyres av nettselskapet. Strupingen innebærer at effektuttaket i et målepunkt kan begrenses eller brytes. Denne funksjonen (relé/kontaktor) skal være innebygd i måleren og skal kunne begrense kundens maksimale uttak. Bruken av funksjonen må baseres på nøytralitetsprinsippet<sup>1</sup>. [1]

I tillegg til nevnte forskrift, har Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) kommet med en henvisning til forskrift 1998-11-06 nummer 1060; ”*forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL)*” og § 30. I henhold til forskriften skal utstyr for frakobling og utkobling bryte alle spenningsførende ledere, det vil si alle faseledere inklusivt nøytrallederen (N-lederen). Frakobling som er foretatt lokalt, det vil si hos sluttbruker, må bare kunne gjeninnkobles lokalt, samt at utstyret og dens funksjon må dokumenteres og merkes tydelig i kursfortegnelsen. Dette er også forankret i NEK 400;2010 avsnitt 530 og 537. Med dette menes funksjoner for frakobling av hele anlegget, med en innebygget kontaktor i AMS-måleren [8].

Begrepene frakobling og utkobling betyr ikke det samme og defineres forskjellig i NEK 400. Frakobling defineres som en funksjon som er beregnet for å gjøre hele eller deler av et anlegg spenningsløst av sikkerhetsmessige årsaker. Dette gjøres ved å bryte alle spenningsførende tilførselsledere inklusivt N-lederen i TN-C-S-systemer. Utkobling er definert som utkobling for mekanisk vedlikehold og skal gjøre elektrisk drevet utstyr inaktivt for å forhindre fare som skyldes elektrisk sjokk eller lysbuer ved ikke-elektrisk arbeid. For å kunne begrense effektuttaket i det enkelte målepunktet, må man benytte seg av funksjonsbryting av forbrukslaster. Funksjonsbryting defineres som inn- og utkobling, samt regulering av tilførselen av elektrisk energi til hele, eller deler av anlegget i normal drift. [9]

---

<sup>1</sup> Nøytralitetsprinsippet innebærer blant annet at nettselskapene ikke kan forskjellsbehandle kraftleverandører. Dette gjelder oppgaver nettselskapene er pålagt å utføre i medhold av avregningsforskriften bestemmelser samt å gi leverandørene tilgang på informasjon nettselskapene måtte motta i forbindelse med den virksomhet de driver, for eksempel opplysninger om den enkelte nettkunde. [10]



## 2.2 Nytteverdien av AMS

Innføringen av AMS og muligheten for struping av forbrukslaster vil gi en økt fleksibilitet med tanke på aktuelle kraftsituasjoner. Dette vil gi en periodevis reduksjon av forbruket som vil gi nettapsgevinster og redusert behov for reserveproduksjon. Dette medfører en reduksjon i utslipp av miljøskadelige gasser forårsaket av kraftproduksjon basert på fossilt brensel, noe som har en stor nytteverdi for miljøet. En kan si at innføring av AMS vil først og fremst ha en stor samfunnsøkonomisk verdi knyttet til redusert behov for ny produksjons- og overføringskapasitet. [11]

Innføringen av AMS vil også ha en nytteverdi for de ulike aktørene i kraftmarkedet. De viktigste gevinstene for de ulike enkeltaktørene i kraftmarkedet er listet opp her [11]:

- Sluttbrukere med AMS kan ha nytte av styring av lavprioriterte forbrukslaster for å redusere eget energi- og effektforbruk, noe som kan bidra til å redusere egne kostnader knyttet til nettariffer. Det vil si at for sluttbrukere flest er interessen og motivasjonen knyttet til en mulig økonomisk gevinst ved innføring av AMS.
- Nettselskapenes hovedmotivasjon er å redusere forbruket i høylasttimer. Dette vil føre til et redusert behov for investering i nettet der flaskehalser oppstår, og mindre nettap forårsaket av en flatere belastningskurve.
- Statnett, som systemoperatør, vil på samme måte som nettselskapene, stimulere til reduksjon i høylasttimer. Dette på grunn av at Statnett har ansvaret for å legge til rette for et velfungerende kraftnett og for å unngå investeringer i sentralnettet.
- For NVE, vil reduksjon av forbruket i maksimallasttimer være av stor interesse som et alternativ til tvangskobling ved eventuelle rasjoneringstilfeller.

### 2.2.1 Økonomi

Det er viktig å fremheve lønnsomheten i å investere i AMS-utstyr og implementering av strupefunksjonen av forbrukslaster, slik at sluttbrukerne blir klar over den besparelsen som er mulig å oppnå. Dette gjøres ved å utføre enkle økonomiske beregninger ved å sette besparelsens kroneverdi opp mot drifts- og investeringskostnader. De metodene som blir benyttet i dette prosjektet er nåverdimetoden og inntjeningsmetoden.

Besparelsen av investeringen, vil i denne sammenhengen være den reduksjonen av kWh som sluttbruker får i løpet av et år, multiplisert med kostnaden per kWh. Besparelsen vil variere fra dag til dag, avhengig av ulike faktorer som for eksempel utetemperatur. Skal en beregne reell besparelse, må man sammenligne forbruket før implementering av strupefunksjonen med forbruket etter og korrigere dette forbruket for temperaturvariasjoner.

Graddagtallet, eller energi gradtall, benyttes for å korrigere energiforbruket til oppvarming i henhold til temperaturvariasjoner. Gradtallet for en spesifikk måned eller år blir sammenlignet med gradtallet fra normalen som blir oppgitt av meteorologisk institutt eller i ”*manual for enøk normtall*” fra Enova. Normal gradtall er et gjennomsnittstall for en 30-års periode, fra perioden 1961 til 1990. Temperaturkorrigert energiforbruk beregnes med Formel (2-1) [12].

$$E_{korr} = E \cdot (1 - k) + E \cdot k \cdot \frac{\text{normal gradtall}}{\text{gradtall i ønsket år}} \text{ [kWh]} \quad (2-1)$$

E – Forbruket [kWh]

k – Korreksjonsfaktor for bygningskategori

Årsaken til at man korrigerer for bygningskategori er at andelen av totalforbruket, som går med til oppvarming, varierer med bygningstypen. Eneboliger og rekkehus har en korreksjonsfaktor lik 0,55, kontorbygg har en faktor lik 0,4 og leiligheter i blokk har en faktor på 0,6 [12].

*Nåverdimetoden* er den viktigste metoden for lønnsomhetsvurderinger og rangering av investeringer. Metoden går i hovedsak ut på å tilbakeføre alle inn- og utbetalinger til et gitt tidspunkt. Den er uavhengig av hvilket tidspunkt som velges, men vanligvis omregnes alle inn- og utbetalinger til dagens nivå. Man foretar med andre ord en diskontering av alle tidligere og fremtidige kapitalverdier. Nåverdien (NV) beregnes ut fra Formel (2-2) og forteller om en investering er lønnsom dersom NV er større enn null. [13]

$$NV = B \cdot \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} - I_0 \text{ [NOK]} \quad (2-2)$$

B – Besparelse per år [NOK]

r – Kalkulasjonsrente

n – Økonomisk levetid [år]

$I_0$  – Investering i år null [NOK]

*Inntjeningsmetoden* representerer den enkleste metoden for å vurdere investeringens lønnsomhet. Den går i hovedsak ut på å finne ut hvor raskt en investering blir tilbakebetalt av de årlige kontantstrømmene. For de økonomiske beregningene må man skille mellom inntjening med lik årlig kontantstrøm og inntjening med ulik årlig kontantstrøm. Inntjeningstiden ( $IT_{lik}$ ) med lik årlig kontantstrøm kan finnes ved hjelp av Formel (2-3), mens inntjeningstiden ( $IT_{ulik}$ ) ved ulik årlig kontantstrøm kan finnes ved å legge sammen årlig besparelse inntil investeringsutgiftens størrelse er nådd [14].

$$IT_{lik} = \frac{\ln\left[\left(1 - \frac{I_0}{B} \cdot r\right)^{-1}\right]}{\ln(1+r)} \approx \frac{I_0}{B} [\text{År}] \quad (2-3)$$

Kalkulasjonsrenten er den renten som benyttes til å diskontere investeringsprosjektets kontantstrømmer og uttrykker det avkastningskravet som er satt for investeringen. Renten inneholder en risikopremie, som vil variere for ulike typer investeringer. For privatpersoner som skal egenfinansiere et tiltak, settes kalkulasjonsrenten ofte lik bankens nominelle rente, men korrigert for inflasjon og skattefradrag. Renten ligger vanligvis mellom 1-4 prosent.

Kalkulasjonsrenten i dette prosjektet settes til 2,73 prosent, ut fra beregninger gitt av Formel (2-4) [13]. Det er forutsatt at relativ prisendringsfaktor for energi i forhold til generell inflasjon ( $e$ ) er 1,2 prosent og at generell inflasjon ( $i$ ) er 1,0 prosent [15]. Den nominelle finansieringsrenten, det vil si bankens utlånerente ( $r_n$ ), og settes her til 5 prosent [16].

$$r = \frac{1}{(1+e)} \cdot \left[ \frac{r_n - i}{(1+i)} - e \right] = \frac{1}{(1+0,012)} \cdot \left[ \frac{0,05 - 0,012}{(1+0,01)} - 0,012 \right] = \underline{0,0273 \rightarrow 2,73\%} \quad (2-4)$$

Økonomisk levetid er per definisjon de antall år en kan forvente at investeringen produserer en positiv kontantstrøm, og den vil være svært forskjellig for ulike investeringsobjekter. Den økonomiske levetiden vil være avhengig av bruk, vedlikehold og teknisk utvikling. Med tanke på den tekniske utviklingen innen automatikk og kommunikasjon, settes den økonomiske levetiden i dette prosjektet til 15 år.

### 3 TARIFFER

For å få det fulle utbytte av innføringen av AMS og strupefunksjon, må det tilbys nye nettariffer som er tilpasset de målepunktene som forbruker under 100 000 kWh/år. Hvis sluttbrukere skal velge å installere denne funksjonen, må det tilbys økonomiske goder slik at sluttbrukere er tjent med å ha slikt utstyr installert.

Det er i dette kapittelet valgt å se på hvilke forskriftsmessige krav som stilles til nettariffen, samt hvordan nettariffen er bygd opp i dagens kraftmarked. Det er i tillegg sett på to aktuelle nettariffer som kan benyttes ved innføringen av strupefunksjonen i norske husholdninger.

#### 3.1 Nettariffer

Nettariff, også kalt overføringstariff, er den pris som betales til eier av kraftnettet for overføring av elektrisk kraft fra eller inn på hovednettet. Den prisen sluttbrukeren står ovenfor i dag består av en nettdel (nettariff) og en kraftanskaffelsesdel. Nettariffen skal dekke kostnadene nettselskapet har til drift og vedlikehold av nettet samt dekning av nettap. Dette kommer frem av *"Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsrammer for nettvirksomheten og tariffer"* del V, som sier hvordan tariffene skal utarbeides. Kraftanskaffelsesdelen er prisen på den energien som kunden forbruker (NOK/kWh), og denne prisen bestemmes av markedet gjennom den nordiske kraftbørsen Nord Pool.

Nettariffene i Norge er bygd på punktтарiffprinsippet. Det vil si at enhver som er tilknyttet nettet og gjør bruk av transmisjonstjenester, betaler en pris som avhenger av det nivået i nettet kunden er knyttet til [13]. Tabell 3-1 viser inndelingen av ulike nettnivåer.

Tabell 3-1 Nettnivåer fastlagt av NVE

Nettnivåer	Spenningsnivåer
0	Sentralnettet og innføringsstasjoner
1	Regionalnettets linjer (66 kV og 132 kV)
2	Hovedtransformator (66-132 kV/11 el. 22 kV)
3	Lokalt høyspentnett (11 – 22 kV)
4	Nettstasjon (fordelingstransformator), ned til under 1000 V
5	Lavspenning (220 V, 400 V)

Med punktтарiff vil forbrukeren kun betale til sin lokale netteier, mens netteier betaler for å benytte det overliggende nettet. Kunder som er tilknyttet det lokale nettet (nivå 5) bidrar på den måten til å dekke kostnadene i både sentral-, regional- og distribusjonsnettet (nivå 0 til 4). Punktтарiffen varierer likevel mellom ulike energiverk og landsdeler, på grunn av ulike naturgitte overføringsforhold og spredt bosetning.

---

Nettariffen for sluttbrukere med uttak i distribusjonsnettet uten effekteffektavregning skal avregnes etter et fastledd og et energiledd, slik at fastleddet dekker de kundespesifikke kostnadene og en andel av øvrige faste kostnadene i nettet. Energileddet skal dekke de marginale tapskostnadene som følge av overføringstap, og kan i tillegg dekke en andel av de øvrige kostnadene som ikke dekkes av fastleddet.

Sluttbrukere med effektavregning skal avregnes etter et fastledd, energiledd og et effektledd, der effektleddet er basert på kundens maksimale forbruk (kW) i en definert periode. Effektleddet skal være kvantumsdifferensierte og disse tariffene skal utformes slik at alle kunder betaler samme pris for uttak opp til første trinn og lavere satser ved senere trinn [17].

Alminnelig sluttbrukere (husholdninger) har gjerne en sammensatt nettdel bestående av et fastledd, et energiledd samt en avgift til staten. Avgiften er delt inn i en forbruksavgift, en avgift til energifondet og en merverdiavgift.

Nettariffen kan i enkelte tilfeller være utformet som tariff for fleksibelt forbruk. Denne tariffen avløste tariffen for utkoblbart forbruk (§ 15-2 i [17]) fra og med 1.1.2012, og sluttbrukere som velger denne type tariff vil få en kompensasjon ved at nettleien reduseres. Tariffen vil inneholde en klausul om at netteier kan koble ut laster hos kunder med redusert krav til forsyningsikkerhet hvis sentralnettet eller underliggende nett har behov for et redusert effektforbruk.

### **3.1.1 Kraftanskaffelsesdel**

Kraftanskaffelsesdelen er som sagt tidligere den prisen kunden må betale for den energien (kWh) en forbruker. For å gi leseren et fullstendig bilde på hvordan prisen på kraft blir satt, blir fysiske og finansielle kontrakter beskrevet i korte trekk.

Fysisk handel medfører at det betales for den kraften som fysisk leveres. Det vil si at man blir enige om en pris, og det betales i henhold til mengden som måles. Ved finansiell handel bestemmes mengde når kontrakten har blitt inngått, og man blir på forhånd enige om hvilken pris som skal gjelde. Det vil si at på leveringstidspunktet foregår det ingen fysisk leveranse, men bare et finansielt oppgjør basert på kontraktsvolumet og differansen mellom en referansepris (spotprisen) og kontraktsprisen. [13]

Nord Pool organiserer i dag omsetning av standardiserte fysiske kraftkontrakter i Elspot som er et fysisk marked, og standardiserte finansielle kraftkontrakter i Eltermin som er et finansielt marked. Elspot er et marked med timekontrakter for fysisk kraftomsetning det kommende døgnet, og tilpasser kraftflyten ved flaskehals i nettet. På grunnlag av kjøps- og salgsmeldinger fra ulike aktører kommer Nord Pool frem til et markedskryss, og det er dette som representerer spotprisen for hver kWh det kommende døgn. Det bør nevnes at spotprisen bestemmes først uten flaskehals i overføringsnettet, og skulle denne spotprisen

---

forårsake flaskehals vil spotprisen justeres på begge sider. På den måten får man en balanse mellom tilbud og etterspørsel i de områdene.

Eltermin er et marked for finansielle futurekontrakter og forwardkontrakter med en tidshorisont på inntil tre år. Dette sørger for en mer stabil kraftpris og sikre strømleverandører mot framtidige svingninger i kraftprisen.

Generelt i Norge finnes det i dag tre hovedtyper av strømkontrakter eller strømtariffer: fastpris for en avtalt periode, variabel pris og spotpris med påslag.

### **3.1.1.1 Fastpris**

Sluttbrukeren betaler samme pris for hver kWh til en hver tid. Det vil si at det er selger som tar risikoen med svingende markedspriser. Sluttbrukeren betaler da et fastbeløp per kWh til strømleverandøren, slik at fastprisavtalen blir noe dyrere enn markedsprisen på det tidspunktet man tegner avtalen. Fastpris er for de sluttbrukerne som er opptatt av forutsigbarhet, og kan sammenlignes med fastrente på et banklån. [18]

### **3.1.1.2 Variabel pris**

Med variabel pris vil prisen per kWh variere, men kraftselskapet må varsle om prisendringen senest 14 dager før den finner sted. Dette fører til at prisen til sluttkunden blir hengende litt etter markedsprisen, både når denne beveger seg oppover og nedover. En to ukers bindingstid gjør at selskapet gjerne sørger for å ha inngått avtaler i kraftmarkedet som sikrer at de kan innfri forpliktelsene overfor kunden. Derfor blir kraften som selges videre til kunden gjerne kjøpt i ukene før den faktisk brukes. Også her tar kraftleverandøren noe av risikoen med kortsiktige prishopp i markedet på sin kappe. [18]

### **3.1.1.3 Spotpris**

Sluttbrukere med timemåling (AMS eller AMR) betaler markedspris, det vil si Nord Pool sin spotpris, samt et påslag som bestemmes av strømleverandøren. Dette påslaget er gjerne et fast månedlig beløp. Dette betyr at prisen som kunden betaler følger utviklingen i det nordiske kraftmarkedet, og prisendringer iverksettes uten forvarsel etter som markedsprisen endrer seg. Strømleverandøren kjøper inn kraften rett før den selges videre, og kunden tar da hele risikoen ved prisendringer. [18]

Sluttbrukere som ikke har timemåling av forbruket, og har en strømkontrakt basert på spotpris, betaler gjerne en snittpris per måned. Forbruket blir da avregnet av nettselskapet etter samme tidsintervall ut i fra avlesningsintervaller. Ønsker man å betale tilnærmet markedspris for energien man forbruker, må man øke de manuelle avlesningsintervallene.

## 3.2 H3-tariffen

Historisk sett har det tidligere vært fokus på effektreduksjon i Norge. Mellom 1950- tallet og 1980-tallet var det et to-prissystem på elektrisk energi, der forbrukeren betalte en høyere pris per kWh for forbruk over et vist effektnivå. Effekttariffen, den såkalte H3-tariffen, var dominerende blant husholdningsabonnenter, og denne tariffen hadde en lav energipris innenfor en avtalt effektgrense i tillegg til at man betalte et fast beløp per kW man abonnerte på. Når effektforbruket overskred effektgrensen, fikk dette overforbruket en betydelig høyere pris per kWh. Den røde, tykke viseren på Figur 3-1 indikerte grensen mellom alminnelig forbruk og overforbruket, mens den svarte, tynne viseren indikerte reelt forbruk i husholdningen. Denne indikatoren ble ofte plassert lett synlig på kjøkkenet, eller andre steder personer i husholdningen ferdes mye.



Figur 3-1 Kjøkkenwattmeter [19]

Prisen for elektrisk energi var den gangen en del lavere enn dagens energipriser, men overforbruket hadde gjerne en kWh-pris som var omkring fem ganger høyere enn det forbruket som lå innenfor avtalt effektgrense. [20]

H3-tariffen ga ikke nødvendigvis høyere pris jo større det totale forbruket var, men ble bare høyere dersom forbruket toppet seg i bestemte perioder. Når en sluttbruker topper energiforbruket sitt til bestemte perioder, har han lav brukstid. Tariffen kunne for eksempel lede til at kundene lot være å kjøre vaskemaskinen samtidig med at det ble laget mat. Dette virket ikke inn på det totale energiforbruket, men det sørget for å flytte forbruket slik at man ikke oppnår de samme effekttoppene man har i dag. I tillegg ledet tariffen til at forbrukerne for eksempel slukket lys i rom som ikke var i bruk slik at de unngikk å komme over på overforbrukspris. Dette er spart energi som i mindre grad blir tatt igjen senere.

Ulempen med H3-tariffen var blant annet et komplisert og kostbart målutstyr. Abonnentene hadde problemer med å forstå tariffen og målutstyret, det resulterte i at de ikke utnyttet sitt abonnement fornuftig. Dette førte til at myndighetene i 1978 foreslo en overgang fra H3-tariffen til en tariff hvor energiforbruket målt i kWh ble tillagt større vekt. Dette ledet fram

mot H4-tariffen (kilowatt-timetariff) hvor energiprisen per kWh er den samme for hele forbruket. Denne tariffen ble da vurdert som bedre egnet for å stimulere til energiøkonomisering. [20]

### 3.3 Aktuelle nettariffer

Dagens nettariffer tar kun høyde for å dekke netteierens marginale tapskostnader samt faste kostnader, og motiverer derfor ikke sluttbruker til å redusere sitt energi- og effektforbruk. Sintef Energi har utarbeidet og testet to typer nettariffer i forskningsprosjektet ”Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT”. Tariffene har blitt testet ut av blant annet BKK og Malvik E-verk, og vil bli presentert i korte trekk i kapittel 3.3.1 og 3.3.2.

#### 3.3.1 Tidsvariabel nettariff med energiledd

En tidsvariabel nettariff vil føre til at kunden betaler for det reelle forbruket, og vil i de periodene nettet er hardt belastet ha en betydelig høyere pris. Dette vil stimulere forbrukeren til å flytte forbruket fra høylasttimer til lavlasttimer. Dette kan utføres enten ved en tariff med et forsterket energiledd eller en tariff med et forsterket effektledd, der energi- og effektleddet kun er aktivt i forhåndsdefinerte perioder.

Den tidsvariable nettariffen består av et fastledd, et tapsledd og et nytt energiledd (kapasitetsledd). Fastleddet skal dekke faste utgifter knyttet til kundeføring. Det opprinnelige energileddet vil bli fordelt på et tapsledd som skal dekke utgifter forårsaket av overføringstap, og et kapasitetsledd som skal være aktivt i perioder nettet er hardt belastet. Kapasitetsleddet har som hensikt å stimulere til redusert forbruket i høylasttimer. Dette gjøres ved at nettkostnaden for en sluttbruker med uendret forbruksmønster forblir den samme som ved dagens nettariff. Sluttbrukere med et redusert energiforbruk vil få en økonomisk gevinst i timene energileddet er aktivt. Formel 3-1 viser hvordan den tidsvariable energitariffen er formulert matematisk. [21]

$$C_{EN} = \beta_{EN} + \gamma \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} p_{d,t}^s W_{d,t} + \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} \alpha_{d,t} p^* W_{d,t} \quad (3-1)$$

- $C_{EN}$  – Kostnad ved tidsvariabel nettariff [kr]
- $\beta_{EN}$  – Fastledd [kr]
- $\gamma$  – Marginaltap som andel av  $W_{d,t}$
- $p_{d,t}^s$  – Spotpris [kr/kWh]
- $W_{d,t}$  – Energiforbruk per time [kWh]
- $\alpha_{d,t}$  – Aktiverer/deaktiverer energileddet (1/0)
- $p^*$  – Pris per kWh [kr/kWh]



Det nye tapsleddet skal kunne dekke de marginale tapskostnadene til nettselskapet og kan i tillegg dekke en andel av de øvrige kostnadene som ikke dekkes av fastleddet, slik som beskrevet tidligere. Dette kan gjøres ved å senke marginaltapsandelen og la kapasitetsleddet dekke det resterende. Andelen av marginaltapene vil være forskjellig fra nettselskap til nettselskap og må derfor bestemmes individuelt for at hvert enkelt selskap skal kunne få dekt inn sine tap. [21]

### 3.3.2 Tidsvariable nettariffen med effektledd

Denne tidsvariable nettariffen med effektledd består av et fastledd, et tapsledd og et effektledd. Fastleddet skal dekke faste utgifter knyttet til kundehåndtering, tapsleddet skal dekke utgifter forårsaket av overføringstap, og effektleddet skal være aktivt i perioder nettet er hardt belastet. Formel (3-2) viser hvordan den tidsvariable nettariffen er formulert matematisk. [21]

$$C_{EFF} = \beta_{EFF} + \gamma \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} p_{d,t}^s W_{d,t} + \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} \alpha_{d,t} P_{d,t} \Gamma_{d,t} \quad (3-2)$$

$C_{EFF}$  – Kostnad ved tidsvariabel effekttariff [kr]

$\beta_{EFF}$  – Fastledd [kr]

$\gamma$  – Marginaltap som andel av  $W_{d,t}$

$p_{d,t}^s$  – Spotpris [kr/kWh]

$W_{d,t}$  – Energiforbruk per time [kWh]

$\alpha_{d,t}$  – Aktiverer/deaktiverer effektleddet (1/0)

$P_{d,t}$  – Effektuttaket i den definerte perioden [kW]

$\Gamma_{d,t}$  – Prisen på effekt [kr/kW]

Effektuttaket bestemmes ut i fra en gjennomsnittsverdi av de tre timene med høyest registrert forbruket i den aktuelle perioden effektleddet er aktivt. Ved å benytte gjennomsnittsverdien, vil sluttbruker fremdeles ha intensiver til å redusere sitt forbruk, selv om han kan ha hatt et høyt forbruk tidligere i perioden. Motivasjonen til å redusere forbruket minsker hvis en velger å benytte absolutt maksimalverdi til beregning av effektprisen. Sluttbrukeren få da bare intensiver om og ikke overstige allerede registrert maksimalverdi. [21]

## 4 REDUSERBART FORBRUK

Det går frem av forskrift om kraftomsetning og nettjenester, at det ønskelig at strupefunksjonen skal være innebygd i måleren i form av et relé og at den kan fjernstyres av sluttbrukerens nettselskap [1]. Dette innebærer at det må installeres enkelte komponenter som kan utføre selve strupingen av de ulike forbrukslastene. Strupefunksjonen innføres først og fremst for å kunne redusere sluttbrukers energi- og effektforbruk i perioder der det er knapphet i nettet, men det åpner i tillegg for ytterligere utkoblingskriterier. Disse kriteriene kan bidra til å gi sluttbrukeren en økonomisk besparelse ved å strupe sluttbrukerens forbrukslast i perioder. For å få best utbytte av strupefunksjonen, er det viktig å kartlegge hvilke forbrukslast som gir mest reduksjon og som er egnet til utkobling.

Dette kapittelet beskriver ulike forbrukslast i en gjennomsnittlig husholdning, og hvilke som egner seg for periodevis utkobling. Kapittelet beskriver også hvilke utkoblingskriterier som kan benyttes for å oppnå den nytteverdien som er ønskelig for alle aktørene i kraftmarkedet.

### 4.1 Utkoblbare forbrukslast

Utkoblbare forbrukslast er de lastene som kan kobles ut i en husholdning i en begrenset tidsperiode uten at dette påvirker komfortkvaliteten til sluttbrukeren, eller anvendelse av den aktuelle installasjonen. Med komfortkvalitet menes det at varmtvannstemperaturen eller romtemperaturen ikke synker til et nivå som oppfattes som ubehagelig, samt at det ikke påvirker den daglige bruken av utstyr og tjenester.

Man kan skille mellom ulike kategorier for utkoblbare forbrukslast, og det er her valgt å skille mellom uprioriterte forbrukslast og prioriterte forbrukslast. Uprioriterte forbrukslast er definert som utkoblbart forbruk, noe som vil si at forbruket kan kobles ut i en angitt eller ubegrenset tidsperiode. Såfremt dette ikke innvirker nevneverdig på komfortkvaliteten i husholdningen. Dette er forbrukslast som elkjeler, termisk trege belastninger og øvrig forbrukslast som motordrifter, ventilasjonsanlegg og lignende. Prioriterte forbrukslast vil være de lastene som er nødvendige for å opprettholde komfortkvaliteten i husholdningen og som ikke kan lagre energi over tid.

Termiske last vil ha tap til omgivelsene, noe som påvirker hvor lenge ulike medier vil holde temperaturen på et akseptabelt nivå. Varmetap knyttet til oppvarming av husholdninger vil være avhengig av bygningsdelenes konstruksjon, konstruksjonens varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi), samt klimaelementer som temperatur og vind [13]. Varmetap knyttet til lagringsmedier vil i tillegg være avhengig av materialenes egenskaper, som den spesifikke varmekapasitet,  $c$  [ $J/(kg \cdot K)$ ], og den termiske konduktiviteten,  $\lambda$  [ $W/(m \cdot K)$ ], i materialene. Den spesifikke varmekapasiteten beskriver den varmemengden som en kilo [ $kg$ ] av materialet opptar eller avgir når temperaturen økes

eller senkes med en kelvin [K], og den termiske konduktiviteten beskriver hvor godt materialet leder varme [13].

Tabell 4-1 viser ulike typer forbrukslaster i en typisk husholdning, der lastene er kategorisert etter hvor godt egnet de er for effektstyring med tallene null (0) til tre (3). Med 0 menes det at lasten ikke er egnet og med 3 menes det at lasten er meget godt egnet for utkobling.

Effektforbruket til de ulike apparatene er hentet fra ”strømforbruk i norske husholdninger”, men er ikke representativt for alle apparater [22]. Det gir likevel et bilde av hvor mye effekt de ulike husholdningsapparatene forbruker.

Tabell 4-1 Forbrukslaster i en typisk husholdning

Kategori	Formål	Skala	Effekt [kW]	Kategori	Formål	Skala	Effekt [kW]
Varmvannsbereder	Uprioritert	3	2,0 – 3,0	Kjøleskap	Prioritert	0	0,1 – 0,3
Varmekabel	Uprioritert	3	0,4 – 2,0	Fryser	Uprioritert	1	0,1 – 0,2
Elektriske ovner	Uprioritert	3	1,0 – 2,0	Komfyr	Prioritert	1	2,0 – 9,0
Vaskemaskin	Uprioritert	1	2,0 – 2,7	Kaffetrakter	Uprioritert	1	0,8 - 1,5
Tørketrommel	Uprioritert	1	1,3 – 2,3	Fjernsyn	Uprioritert	1	0,2 – 0,4
Oppvaskmaskin	Uprioritert	1	2,0 – 2,3	Brødrister	Uprioritert	1	0,7 – 0,9
Lys	Prioritert	0	0,5 – 1,5	Datamaskin	Uprioritert	1	0,05 – 0,2
Hi-fi	Uprioritert	1	0,3 – 0,5	Mikrobølgeovn	Uprioritert	1	0,1 – 1,0
Kjøkkenvifte	Uprioritert	1	0,2 – 0,4	Elektriske apparater	Uprioritert	1	0,1 – 1,0

Ut fra Tabell 4-1 kan man se at forbrukslaster som varmtvannsbereder, varmekabel og annen elektrisk oppvarming, er definert som uprioriterte og vil være meget godt egnet for utkobling. Dette er forbrukslaster som trekker forholdsvis store effekter, har stor termisk tregghet og kan lagre energi over en begrenset tid. Med lagret energi menes at forbrukslastene kan holde temperaturen i lagringsmediet innenfor et vist nivå i den tiden det er utkoblet. Disse forbrukslastene vil bli beskrevet nærmere i henholdsvis kapittel 4.1.1, 4.1.2 og 4.1.3.

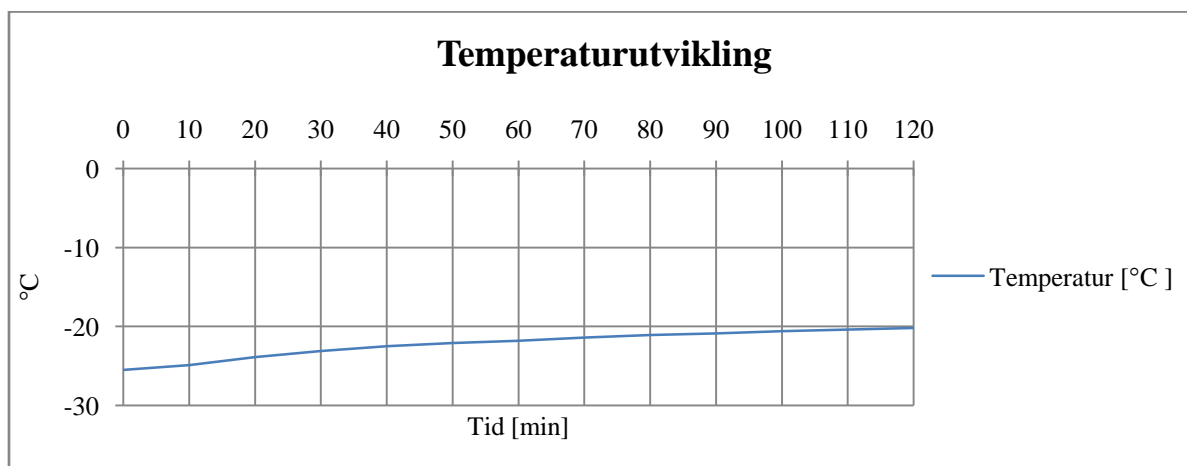
Kjøleskap er en termisk treg belastning, men er lite egnet til utkobling. Dette på grunn av at effektforbruket til belastningen ikke er særlig høyt samt at for lang utkoblingstid vil føre til for stort kuldetap, noe som kan føre til at innholdet blir fordervet. Kjøleskap er i tillegg definert som en prioritert belastning på grunn av at utkobling vil føre til en betraktelig reduksjon av komfortkvaliteten hos sluttbrukeren.

Når det gjelder frysere vil denne være bedre egnet for utkobling på grunn av at temperaturen i en fryseboks vil holdes lav over en lengre tid. Det som gjør at lasten defineres som lite egnet (1) til utkobling er effektforbruket. Dette betraktes som moderat og er estimert til 100 - 300 W [22]. Det er i dette prosjektet foretatt et forsøk på hvordan temperaturutviklingen i en fryseboks utvikler seg i løpet av en utkoblingstid på 2 timer, og ble foretatt for å undersøke om forbrukslasten vil være egnet til utkobling. Temperaturen ble

manuelt logget vært tiende minutt i øvre del (luka) av en 400 liters fryseboks med et digitalt termometer. Resultatene fra temperaturutviklingsforsøket er vist i Tabell 4-2 og Figur 4-1.

Tabell 4-2 Resultater fra temperaturutviklingsforsøk

Beskrivelse	Temperatur ved t=0	Temperatur ved t=2	Temperaturendring
Fryseboks 400 l	- 25,5 °C	- 20,2 °C	5,3 °C



Figur 4-1 Temperaturutvikling i fryseboks

Ut fra Tabell 4-2 kan man se at utkoblingen forårsaker en temperaturøkning på 5,3 °C ved en utkoblingstid på 2 timer, og det går frem av Figur 4-1 at temperaturøkningen i fryseboksen flater ut etter omtrent 100 minutter. En temperaturøkning på 5,3 °C vil ikke ha noen innvirkning på innholdet i fryseboksen og man kan derfor konkludere med at en fryseboks ikke har problemer med å takle en utkoblingstid på 2 timer.

Andre elektriske apparater som hi-fi, fjernsyn og datamaskin er uprioriterte belastninger, som trekker minimalt med effekt. Disse belastningene vil ikke innvirke nevneverdig på effekt- og energiforbruket i husholdningen, men de kan bidra til å redusere energiforbruket ved å skru apparatene helt av. Dette fordi belastningene også trekker litt effekt fra nettet når de står i standby modus.

En utkobling av oppvaskmaskin, tørketrommel, komfyr eller vaskemaskin vil ikke bidra til en reduksjon av effekt- og energiforbruket, men dette forbruket kan flyttes til lavlasttimer for å redusere effektforbruket i timene nettet er sterkt belastet. Dette vil gi en økonomisk besparelse ved at man må betal mindre for det samme forbruket i lavlasttimer enn i høylasttimer. Hvis dette forbruket blir flyttet til natt, vil det dukke opp andre hensyn man må ta med i betraktningen, som fare for vannlekkasje og brann. Dette kan medføre fare for sluttbrukeren og i verste fall føre til dødsfall.

Lys er ikke egnet for utkobling på grunn av flere årsaker. Utkobling vil blant annet redusere komfortkvaliteten betraktelig i den perioden av året naturlig lys ikke er tilstrekkelig. Det er

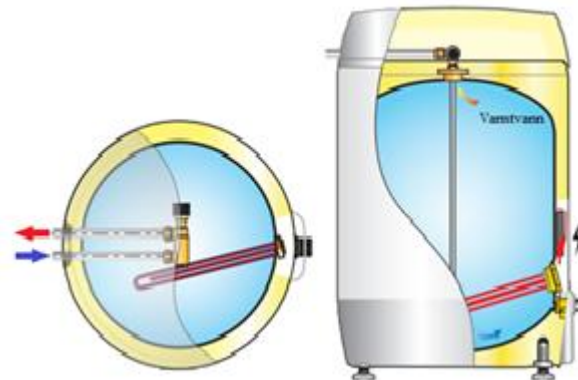
ingen tvil om at lys likevel vil bidra til en reduksjon av energi- og effektforbruket ved for eksempel skru av lys i rom man ikke oppholder seg, bytte lyskilder og lignende.

#### 4.1.1 Varmtvannsbereder

Varmtvannsberedere (VVB) som er produsert etter 1950-årene er av typen forrådsberedere, som er den vanligste berederen på markedet. Forrådsberederen består i hovedsak av en isolert tank, hvor vannet blir oppvarmet av en elektrisk kolbe. Det finnes også en annen type bereder, kalt gjennomstrømningsbereder, som ikke har tank, men varmer opp vannet etter behov.

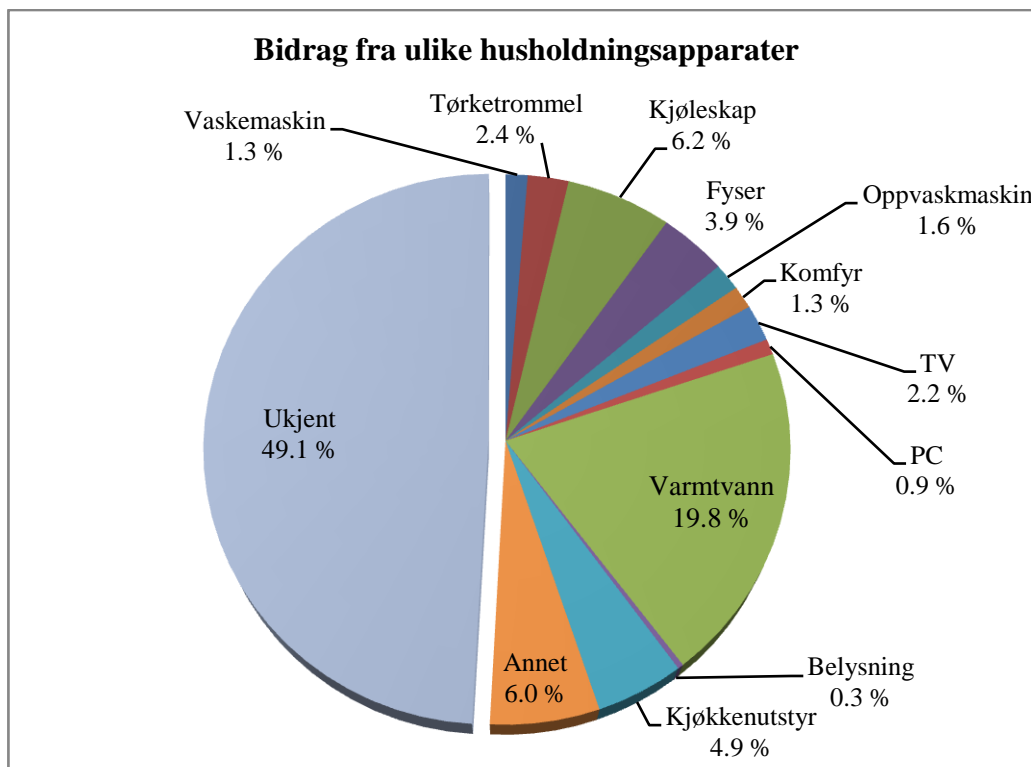
Den vanligste VVB i norske husholdninger er enkeltmantlet forrådsbereder der varmekolben er plassert direkte inn i vanntanken på 100 – 300 liter. Varmekolben i en VVB som trekker gjerne en effekt på mellom 2 – 3 kW [23]. VVB virker på den måten at trykket på kaldtvannet presser det varme vannet ut gjennom toppen av berederen. Det kalde vannet stopper å strømme inn i tanken når trykket på kaldtvannet er likt trykket i tanken.

Som vist på Figur 4-2 blir det kalde vannet påtrykt i bunnen av tanken. Hvis varmtvann blir tappet i den perioden varmekolben er utkoblet, vil det kalde vannet som strømmer inn i tanken. Det kalde vannet vil holde seg i bunnen av tanken på grunn av fysikkens lover, men det vil også forårsake gradvis varmetap i det varme vannet.



Figur 4-2 Snitt av en varmtvannsbereder [23]

En gjennomsnittlig enebolig benytter om lag 20 prosent av det totale energiforbruket til oppvarming av varmtvann, noe som representerer omtrent 3300 kWh/år. Dette kommer frem av Figur 4-3, som viser gjennomsnittsforbruket til ulike husholdningsapparater. Omkring 30 prosent av det totale energiforbruket til oppvarming av varmtvann går over til varmetap, avhengig av volumet på berederen samt vanntemperaturen i berederen. Ved å senke temperaturen på vannet vil varmetapene minke, men temperaturen må likevel ikke være lavere enn 65 °C for å forhindre vekst av Legionellabakterien [24].



Figur 4-3 Gjennomsnittsförbruket til husholdningsapparater[22]

VVB produsert de senere årene har byttet ut mineralull med skum som isoleringsmateriale. Dette øker konstruksjonens U-verdi og det har vist seg å isolere inntil 30 prosent bedre enn mineralull [24]. I tillegg til at isoleringsmaterialene i de nye VVB har blitt bedre, holder vann godt på varmen på grunn av den høye spesifikke varmekapasiteten ( $4190 \text{ [J/(Kg} \cdot \text{K)]}$ ) forårsaket av hydrogenbindingene i vannet [13]. Det bør også nevnes at dette er en av grunnene til at det også kreves mye energi for å varme det opp.

Det vil si at VVB representerer en forbrukerlast med stor termisk treghet og det vil være effektivt å benytte denne forbrukslasten til utkobling. Når det gjelder utkoblingens lengde, vil dette være avhengig av fabrikat og byggeår. Eldre VVB har dårligere U-verdi enn nyere VVB og må derfor ha en kortere utkoblingstid. Det anses at en utkoblingstid på 2 timer ikke vil føre til for store varmetap i VVB.

Når det gjelder implementering av styrekomponenter, vil dette være relativt enkelt siden de fleste VVB har egen kurs i fordelingen, eller er tilkoblet en stikkontakt via et støpsel. Det er for øvrig et nytt krav i Norsk elektroteknisk norm (NEK 400:2010) at alle VVB med en effekt på 2000 W eller mer skal være fast tilkoblet og det anbefales at den tilkobles egen kurs<sup>2</sup> [25].

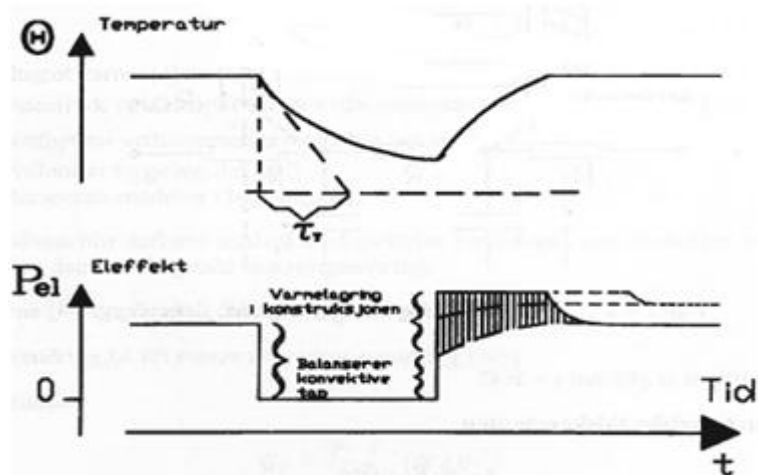
<sup>2</sup> Dette gjelder eneboliger, leiligheter, fritidsboliger, o.l. bygd etter 1. Juli 2010

### 4.1.2 Varmekabel

Varmekabelen har ingen termisk treghet i seg selv, men er ofte nedstøpt i en masse som innehar en termisk treghet. Denne masse utstråler varme til omgivelsene når den blir varmet opp noe som gir en maksimal energiutnyttelse i forhold til andre elektriske oppvarmingskilder.

For å oppnå maksimal effekt av å redusere temperaturen eller koble ut forbrukslasten må gulvmassen bestå av tunge konstruksjoner med høy varmekapasitet, c. Betong og murverk har god spesifikk varmekapasitet ( $1000 \text{ [J/(Kg} \cdot \text{K)]}$ ) og middels god varmeledningsevne,  $\lambda$  ( $1,7 \text{ [W/mK]}$ ) [13]. Disse materialene er derfor best egnet i kombinasjon med varmekabel, og varmekabel forlagt i disse materialene vil da være godt egnet for utkobling.

Over tid vil temperaturfordelingen i gulvmassen avta og hvor lang utkoblingstid man kan ha på ulike varmekabler vil være avhengig av rommets konstruksjon, varmelagringsevnen og eventuelt varmetilførsel. En prinsipiell temperaturfordeling i rom med tunge materialer er vist i Figur 4-4. Varmetapene i rommet vil være avhengig av hvor rommet er plassert i bygningen, utetemperatur og konstruksjon av ulike bygningsdeler som vegg, tak og gulv.



Figur 4-4 Prinsipiell temperaturfordeling [26]

### 4.1.3 Elektriske ovner

I likhet med varmekabelen i kapittel 4.1.2, har heller ikke elektriske ovner noe termisk treghet, og er avhengig av at bygningskroppen er utført med tunge materialer som betong, mur, teglstein og lignende.

Fordelen med elektriske ovner er at de er enkle å regulere og at virkningsgraden på en elektrisk ovn er tilnærmet lik 100 prosent. Det finnes en rekke ulike elektriske ovner på markedet i dag, som panelovner, vifteovner, oljefylte ovner og stråleovner.

Prinsippet for varmeavgivelse er litt forskjellig for ulike typer elektriske ovner. Panelovnen og den oljefylte ovnen avgir varme gjennom stråling og konveksjon, og er ofte plassert

under vinduet for å forhindre kulderas. Enkelte typer panel- og oljefylte ovner kan også plasseres på gulvet.

De oljefylte ovnene holder godt på temperaturen, når oljen først er varmet opp. Dette er på grunn av at den har en høy spesifikk varmekapasitet ( $1900 \text{ [J/(Kg} \cdot \text{K)]}$ ), noe som er gunstig ved utkobling av slike laster.

Vifteovnen er frittstående og er gjerne plassert på gulvet. Vifteovnen avgir varme ved at et vifte blåser den kalde luften gjennom et varmeelement som varmer opp luften. Denne luften stiger opp mot taket og presser den kalde luften ned mot gulvet.

Stråleovnen er gjerne plassert i tak eller på en vegg, og som navnet tilsier blir varmen avgitt som strålevarme. Materialer blir varmet opp av denne strålevarmen, som igjen avgir varme til omgivelsene.

På samme måte som varmekabelen, vil den oppvarmede bygningsmassen avgi varme over tid, og hvor godt bygningsmassen holder på og avgir varme vil i tillegg til varmelagringsevnen, være avhengig av varmetap i rommet og eventuelt varmetilførsel. Hvor lang utkoblingstid man kan ha avhenger av konstruksjonens varmelagringsevne og varmegjennomgangskoeffisient. Dette er som oftest tilknyttet til hvilken byggt teknisk forskrift (TEK) husholdningen er oppført etter.

## 4.2 Utkoblingskriterier

Utkobling av de termisk trege forbrukslastene kan utføres lokalt av sluttbruker, automatisk gjennom et styreprogram eller sentralt fra netteier. Kriterier som er lagt til grunn for utkobling i denne prosjektrapporten er forbruksmønster og spotprisutvikling, effektforbruk samt knapphet i nettet, og vil bli beskrevet nærmere i dette kapittelet.

### 4.2.1 Forbruksmønster og spotprisutvikling

Forbruksmønsteret til sluttbrukeren er undersøkt i fordypningsoppgaven til undertegnende, som blant annet hadde som mål å kartlegge og analysere energiforbruket til 14 eneboliger på Fosen i Sør-Trøndelag. Det er valgt å vise et utdrag av oppgaven der forbruksmønsteret er presentert, og det henvises derfor til ”*Strømforbruk i norske husholdninger*” for ytterligere informasjon knyttet til dette emnet [22].

Energiforbruket til en gjennomsnittlig sluttbruker vil variere over døgnet og Figur 4-5 viser hvordan energiforbruket varierer ved forskjellig utetemperatur. Det er sammenlignet tre ulike dager med ulik middeltemperatur på henholdsvis  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

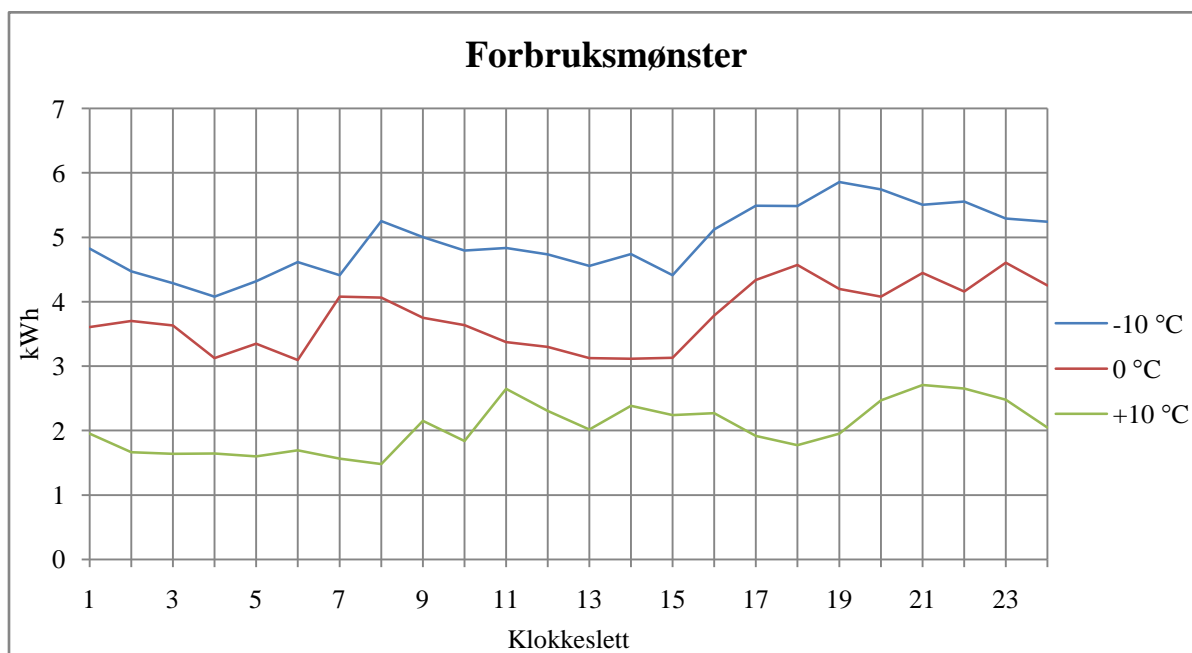
Tabell 4-3 viser middel-, maksimal- og minimaltemperaturen, samt maksimalt og minimalt energiforbruk for de tre spesifikke dagene. Det høyeste gjennomsnittlige effektforbruket



som ble registrert i dette utvalget var på 6,43 kW og det totale gjennomsnittlige årsforbruket var på 24 058 kWh.

Tabell 4-3 Middel-, maksimal- og minimaltemperaturen

Dato	T <sub>middel</sub>	T <sub>maks</sub>	T <sub>min</sub>	kW <sub>min</sub>	kW <sub>maks</sub>
21.12.2010 (tirsdag)	-10,4	-9,0	-12,0	4,08	5,86
9.2.2011 (onsdag)	0,2	3,6	-2,2	3,10	4,61
15.5.2011 (søndag)	10,1	14,5	6,1	1,48	2,71

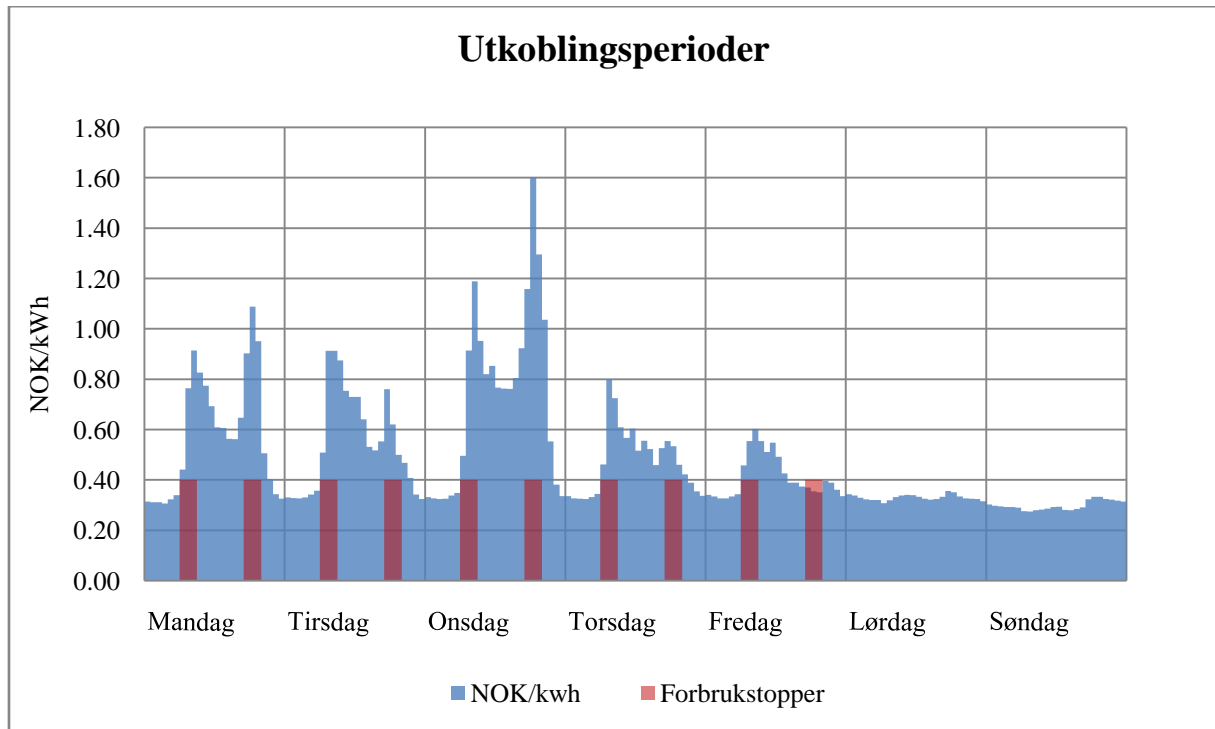


Figur 4-5 Døgnprofil ved 3 ulike midlere utetemperaturer

Ut fra Figur 4-5 kan man se at forbrukstoppene for en enebolig forekommer to ganger daglig, en om morgenen, mellom klokken 07:00 og 09:00, og en om kvelden mellom klokken 18:00 og 20:00, der forbrukstoppene er noe mindre om morgenen enn om kvelden. Eneboligens døgnprofil er karakterisert med en forskyvning mellom forbrukstoppene på hverdage sammenlignet med lørdager og søndager (helg). Forbrukstoppene i helgene inntreffer mellom klokken 10:00 og 12:00 om morgenen, samt mellom klokken 20:00 og 22:00 om kvelden. Dette gjelder først og fremst eneboliger, men det er grunn til å tro at dette også er tilfelle for andre boenheter som tomannsbolig, leiligheter og andre husholdninger.

Spotprisen fra Nord Pool varierer fra time til time, og vil ha samme karakteristiske formkurve som forbruksmønsteret til den gjennomsnittlige sluttbrukeren, slik som vist i Figur 4-6. Sammenligner man forbrukstoppene fra mandag til og med fredag, med spotprisen fra Nord Pool, kan man se at prisene er høyest de timene i døgnet der forbruket er

størst. Det vil med andre ord gi en økonomisk besparelse for sluttbrukeren å redusere og flytte forbruket i høylasttimer, der spotprisen er høy, til lavlasttimer der spotprisen er noe lavere. Dette vil også ha en stor nytteverdi ovenfor netteier med tanke på at man får et redusert behov for investering i nettet der flaskehals oppstår, på grunn av redusert energi- og effektforbruk.



Figur 4-6 Spotpriser i midt-Norge for uke 6 2012, med husholdningens forbrukstopper

Som det kommer frem av Figur 4-6, vil det gi liten eller ingen økonomisk besparelse å redusere effektforbruket i enkelte timer på lørdager eller søndager (helger). Det er på grunn av at spotprisen har en forholdsvis flat kurve i denne perioden, og det er derfor ingen hensikt å flytte forbruket. Spotprisen har flatere kurve i helgene på grunn av at enkelte effektkrevende industrier har stoppet produksjonen, noe som fører til at det er liten sannsynlighet for at det vil oppstå flaskehals i nettet.

Det går klart frem av Figur 4-6 at det er en sammenheng mellom forbruksmønsteret til sluttbrukeren og spotprisens pristopper gjennom døgnet, spesielt dagene mandag til og med fredag. Det er i dette prosjektet valgt å foreta en automatisk utkobling av forbrukslastene i disse dagene gjennom vinterhalvåret som undertegnede har definert som november til og med mars. Automatisk utkobling av forbrukslast vil da bli foretatt mellom klokken 07:00 – 09:00 og mellom klokken 18:00 og 20:00, men med mulighet for overstyring av sluttbruker.

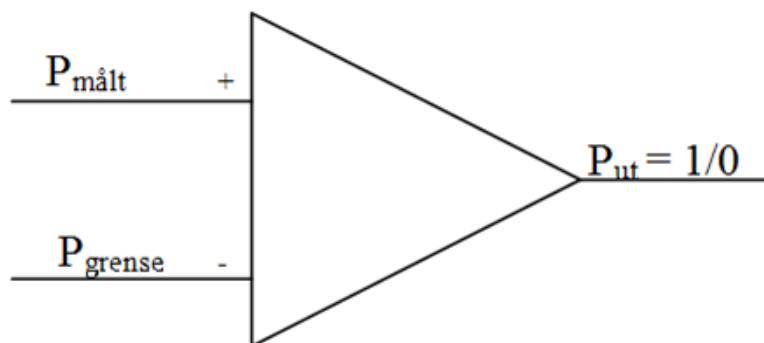
Sporprisen på elektrisk energi er lavere i de månedene som ligger utenom vinterhalvåret, men kan i enkelte dager/uker være svært høy på bakgrunn av for eksempel lite tilsig til magasinene. Hvis sluttbrukeren ønsker utkobling av uprioriterte forbrukslaster utenom vinterhalvåret, kan sluttbruker definere en grense for når utkobling skal foretas. Denne grensen må være knyttet opp mot Nord Pool sin spotprisutvikling som er tilgjengelig på deres hjemmesider<sup>3</sup>.

#### 4.2.2 Effektforbruk

En effektgrense baseres på at sluttbrukeren definerer en øvre effektgrense for utkobling av forbrukslastene. Dette vil i prinsippet være det samme som H3-tariffen, men isteden for økte kostnader per kWh vil de uprioriterte forbrukslastene bli koblet ut i en definert tid.

Den øvre effektgrensen bør kunne endres hver måned og kan for eksempel settes ut i fra samme måned fra foregående året. Hvis man tar gjennomsnittet av de tre dagene med høyest effektforbruk, så kan dette sette effektgrensen for gjeldende måned. Det er likevel ingen garanti for at effektforbruket er likt, siden utetemperaturen varierer fra år til år.

Utkoblingen av uprioriterte laster kan bli automatisk utkoblet hvis effektforbruket ( $P_{\text{målt}}$ ) overskrider den definerte grensen ( $P_{\text{grense}}$ ), ved hjelp av en komparator slik som vist i Figur 4-7. Komparatoren henter informasjon om aktivt effektforbruk og sammenligner dette forbruket med en grenseverdi. Hvis forbruket overstiger grenseverdien, vil de uprioriterte lastene bli utkoblet. Det er her viktig at det er en forsinket innkobling av lastene når de blir koblet ut av komparatoren, slik at lastene ikke kobles direkte inn igjen med en gang effektforbruket er lavt nok.



Figur 4-7 Effekt komparator

<sup>3</sup> Link til <http://www.dynamic.nordpoolspot.com/marketinfo/elspot/trondheim/elspot.cgi>, som viser spotprisutviklingen time for time.

### 4.2.3 Knapphet i nettet

Knapphet i nettet er knyttet opp til nettselskapet og knapphet eller flaskehals i det sentral-, regional- og distribusjonsnettet. Med dette menes at det kan oppstå mangel på overføringskapasitet i nettet og har derfor behov for å koble ut uprioriterte forbrukslaster en periode for å få bukt med kapasitetsproblemet.

Ved flaskehals vil spotprisen være mye høyere enn vanlig, og sluttbruker for derfor økonomisk gevinst av å la nettselskapet koble ut uprioriterte forbrukslaster i en slik situasjon. En annen løsning kan være å gi kompensasjon i form av redusert nettleie i den perioden forbrukslastene er utkoblet, men den beste løsningen vil være å la spotprisen være den økonomiske gevinsten for sluttbrukeren.

Utkobling av de uprioriterte forbrukslastene kan bli foretatt av nettselskapene gjennom reléutgangen i kWh-måleren. Forbrukslastene kan da være utkoblet i et definert tidsrom på for eksempel 2 timer.

## 5 STYRINGSTEKNOLOGIER

I dette kapitlet presenteres grunnleggende styringsteknikk som kan benyttes til bryting og struping av energi- og effektforbruket. Dette for å gi en forståelse av hva systemene gjør, hvordan de fungerer og hva som er forskjellen på de ulike systemene. Det presenteres også produkter fra ulike leverandører av slik teknologi som kan benyttes til denne type styring.

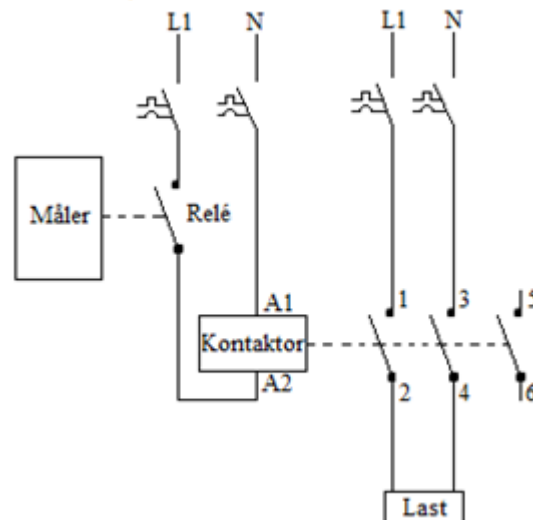
For å begrense omfanget knyttet til styringsteknologier fra ulike leverandører er det valgt og kun se på hvordan strupefunksjonen kan implementeres hos sluttbrukeren. Det er med andre ord valgt å se bort fra hvordan kommunikasjonen mellom nettselskapene og sluttbrukerne bør være utformet, siden det er knyttet stor usikkerhet til dette med tanke på sikkerhet og personvern.

### 5.1 Kontaktorstyring

Den enkleste formen for styring av forbrukslaster, utover konvensjonelle anlegg, er kontaktorstyring. En kontaktor består av en spole, jernkjerne (anker), fjær og hoved- og hjelpekontakter. Når spolen tilkobles en spenning og det går strøm i spolen, oppstår det et magnetfelt som trekker ankeret til seg. Siden kontaktene er tilkoblet ankeret, trekkes disse mot den andre siden av kontaktsettet. Spolen tilkobles via  $A_1$  og  $A_2$ , og når strømmen i spolen blir brutt trykker fjære kontaktsettet tilbake i normalposisjon. Kontaktorstyring blir benyttet til styring av motorer og motoranlegg, siden kontaktoren er godt egnet ved store startstrømmer.

Som nevnt tidligere er det ønskelig at strupefunksjonen skal være innebygd i måleren i form av et relé og at den kan fjernstyres av sluttbrukerens nettselskap [1]. For at det innebygde releet skal kunne styre inn og utkoblingen av forbrukslaster, må signalet fra releet benyttes til å styre andre komponenter som tar seg av selve ut- og innkoblingen av de uprioriterte forbrukslastene.

En løsning er å utføre selve ut- og innkoblingen med en kontaktor som da blir styrt av releet i måleren, slik som vist på Figur 5-1. De uprioriterte forbrukslastene kobles til tilkoblingsklemmene 2, 4 og 6, mens utgangen fra kurssikringen kobles til klemmene 1, 3 og 5, hvis det er en tre faset forbrukslast.



Figur 5-1 Strupefunksjon med kontaktorstyring

## 5.2 PLS

Dersom man ønsker en mer avansert løsning på strupefunksjonen, er neste tekniske nivå PLS – utstyr. Programmerbar Logisk Styring (PLS) har tatt over mange oppgaver som tidligere var styrt og regulert av releer og kontraktorer. Dette har mange fordeler som for eksempel enklere ledningsføring, mer oversiktlig og enklere omprogrammering for å utføre andre oppgaver.

En PLS er gjerne bygd opp av en spenningsforsyningsenhet (SM), en prosessenhet (CPU) og en signalmodul (SM). Signalmodulen inneholder alle innganger (I) og utganger (Q) på PLS-enheten og kan bestå av mange moduler. En PLS opererer syklisk, det vil si at alle tilstandene til innganger og utganger blir skrevet til minnet, deretter blir det beregnet nye verdier på utgangene basert på de innleste verdiene som utgangene tilslutt blir satt til. Syklustiden vil variere fra PLS til PLS men det er viktig at denne er så liten som mulig. [27]

En PLS kan programmeres ved hjelp av foreksempel logiske funksjoner som blant annet OG, ELLER, NELLER, NOG og IKKE. Disse er basisfunksjoner for alle logiske systemer og kan kombineres på ulike måter for å oppnå ønsket funksjon. I tillegg til basis funksjonene er forskjellige typer vipper også vanlige. De logiske funksjonene opererer bare i to tilstander, som er enten høy (1) eller lav (0).

I PLS systemer sitter all intelligensen i prosessenheten (CPU) som kommuniserer med sensorer, aktuatorer og andre prosessenheter gjennom direkte fysiske signaler, noe som betegnes som et sentralisert system. Dette betyr at en prosessenhet inneholder all programvaren for overvåking, styring og regulering. Fordelen med et slikt system er at det er enkelt å endre programmet.

En PLS kan kommunisere med andre type systemer gjennom en kommunikasjonsmodul eller en gateway som det heter på fagspråket. Dette åpner muligheten for å gi systemet flere avanserte funksjoner, samt muligheten for trådløs dataoverføring via for eksempel et buss-system, som er neste tekniske nivå.

### **5.3 Buss-systemer**

Det siste tekniske nivået innen styringsteknologier i boliginstallasjoner er buss-systemer. Dette systemet vil bli beskrevet mer omfattende enn de foregående systemene, på grunn av de mulighetene som ligger i bruken av dette systemet.

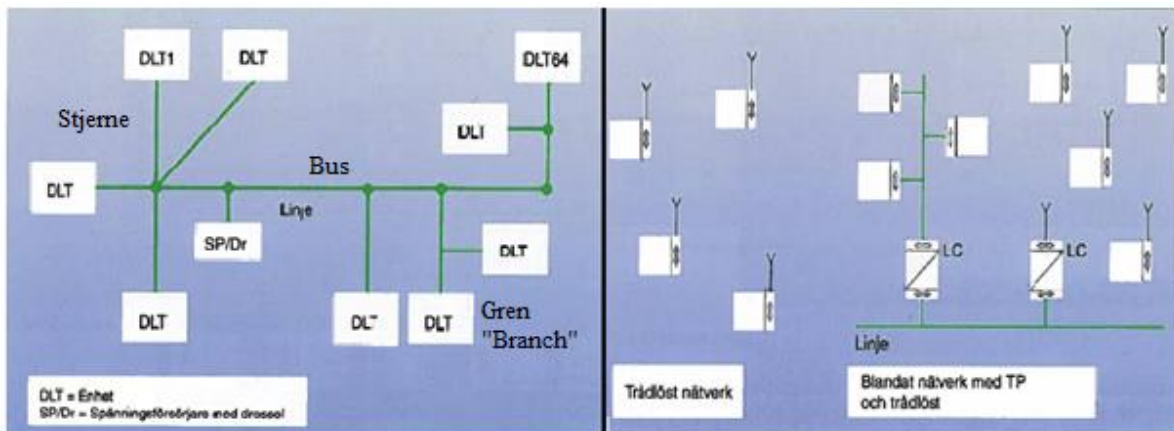
Buss-systemer er en videreføring av teknologien fra datakommunikasjonen etter at det på begynnelsen av 90-tallet ble økte krav til sikkerhet, fleksibilitet og komfort ved elektriske installasjoner. Hovedformålet med utviklingen av buss-systemer var at brukeren skulle ha et styre- og kontrollsystem som oppfylte driftskrav, vedlikeholds krav og fleksibilitetskrav, samt var kostnadseffektivt sammenliknet med andre alternativer.

En buss er et overføringsmedium for datakommunikasjon mellom en eller flere sensorer til en eller flere aktuatorer. Alle slike enheter vil være parallelt innkoblet på et overføringsmedium og et buss-system vil bestå av minimum to enheter. Med en aktuator menes en innretning som mottar et signal, og omformer dette signalet til en fysisk hendelse, som for eksempel styre en relékontakt eller dimme et lys. Med sensor menes en innretning som måler eller registrer en fysisk hendelse og konvertere dette til et signal som for eksempel sendes til en aktuator. Med et buss-system vil alle funksjoner, utover ren kraftoverføring, bli utført med signaloverføring på bussen. [28]

Fordelen med et buss-system er at det gir muligheten til desentralisering. Det vil si at systemet ikke er avhengig av en sentralenhet ved at de enkelte enhetene innehar en viss grad av intelligens, og kan kommunisere direkte seg imellom. Dette betyr at ikke hele systemet svikter hvis enkelte komponenter skulle svikte.

Bussen eller overføringsmediet som overfører datasignaler mellom sensorer og aktuatorer, kan fysisk sett bestå av tvunnet trådpar (TP), koaksialkabel, elkraftnett (PL – power line), radiofrekvens (RF), infrarød (IR), m.m. De to sistnevnte skiller seg fra de andre på et viktig punkt; de er trådløse, men det er nok RF som er mest utbredt siden denne overføringsteknologien ikke trenger fri sikt mellom sensorer og aktuatorer. De vanligste overføringsmediene er basert på TP eller et annet trådbundet overføringsmedie. Dette betyr at TP er mest vanlig i nye installasjoner der man tar høyde for slikt utstyr under planleggingen, mens trådløse og PL-baserte overføringsmedier generelt egner seg bedre til rehabilitering og etterinstallasjon. Fordelene med å benytte RF, IR og PL må likevel veies opp mot ulemper som lavere overføringskapasitet og hastighet, samt mer utsatt for støy og

refleksjoner. Figur 5-2 viser strukturen til et buss-system med ulike topologier. Til høyere vises topologi for trådbasert overføring og til venstre vises topologi for trådløs overføring.



Figur 5-2 Topologi til trådbasert-(venstre) og trådløst (høyere) buss-system [29]

I buss-topologien er deltagerne parallelt innkoblet på en hovedlinje, eller som perler på en snor. I en stjerne-topologi er deltagerne knyttet til et knutepunkt, mens en gren-topologi er en blanding av stjerne- og buss-topologien. Ring-topologiene vises ikke i Figur 5-2, men er en vanlig nettverkstopologi. I et ringnett er deltagerne tilknyttet en felles kabel som føres fra deltager til deltager. Denne topologien gir en sikkerhet ved at signalene kan sendes begge veier, og vil fungere selv med brudd i kabelen. Den vanligste topologien i praksis er fri-topologi, som er en blanding av ulike topologier.

For at to deltakere skal kunne kommunisere sammen over et hvilket som helst kommunikasjonsmedium er det viktig at de snakker samme språk, eller forholde seg til samme sett med kjøreregler, som i datakommunikasjonsverden kalles for protokoll. OSI-modellen er et slikt sett med kjøreregler, og er en forkortelse for "Open Systems Interconnection". OSI-modellen er utarbeidet av ISO (International Standardization Organization) i samarbeid med de største leverandørene av datakommunikasjonsutstyr. OSI-modellen består av syv ulike lag med hver sin kommunikasjonsoppgave, og gir et bilde av hvordan telegrammet beveger seg fra deltager til deltager i det fysiske nettverket. Hvert lag i modellen kommuniserer med over- og underordrede lag, og pakker informasjonen bestående av ulike kontrollfelter og adresser inn i rammer. De ulike lagene i OSI-modellen er: 1. Det fysiske laget, 2. Datalinklaget, 3. Nettverkslaget, 4. Transportlaget, 5. Sesjonslaget, 6. Presentasjonslaget og 7. Applikasjonslaget.

Metoden de enkelte deltakerne på overføringsmediet sender telegrammer på, kalles for aksessmetode. Det finnes ulike aksessmetoder, men den mest utbredte er CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). CSMA/CD går ut på å lytte på overføringsmediet for å undersøke om noen sender. Hvis mediet er ledig sender deltakeren



telegrammet, og vil deretter lytte på mediet for registrere om det oppstår kollisjoner med andre telegrammer. Hvis dette skjer, vil CSMA/CD sørge for at et nytt telegram blir sendt etter en tilfeldig tid for å unngå nye kollisjoner. [29]

Det finnes foreløpig ingen standard for buss-systemer, og leverandører av de ulike systemene prøver å etablere sine systemer til en type ”standard”, det vil si systemer som blir benyttet av så mange at de blir ”uoffisielle standarder” [26]. Det finnes mange forskjellige systemer og de mest aktuelle i Norge er KNX, LonWorks, Elromatic, IHC, X-10 og CEBus.

De fleste styresystemene som er undersøkt i denne rapporten benytter en internasjonal standard som kalles KNX (beskrevet i kapittel 5.3.1) som er basert på en åpen standard. Åpen i den forstand at flere produsenter leverer komponenter som kan benyttes i samme system. Fordelen med dette er at en oppnår interoperabilitet mellom ulike produsenter og dette er med på å presse prisene ned. En av grunnene til at det er valgt å se på kun KNX teknologien i dette prosjektet er at dette systemet ofte blir benyttet i elektriske installasjoner i husholdninger.

Ved å benytte en åpen standard tilfredsstiller man NVE sin vurdering vedrørende kommunikasjon med eksternt utstyr. Forskriften [3] legger for øvrig ansvaret over på nettselskapene, men det stilles krav til et standardisert grensesnitt ved kommunikasjon til eksternt utstyr. Det er ennå ikke bestemt hvilken standard som skal benyttes, men ifølge Ivan Schytte i Skagerak Energi jobber nettselskapene nå med dette [30].

### **5.3.1 KNX/(EIB)**

KNX (uttales; konnex) er både et godkjenningsorgan og en internasjonal standard, som historisk sett bygger på de tre tidligere systemene EIBA (European Installation Bus Association), EHSA (European Home System Association) og BCI (BatiBus Club International) [26]. Godkjenningsorganet KNX Association har i oppgave å utvikle og promotere en internasjonal kommunikasjonsstandard for hjem- og bygningsautomasjonssystemer. Standarden er åpen uten lisenser for KNX medlemmer og garanterer interoperabilitet mellom forskjellig utstyr og leverandører. [31]

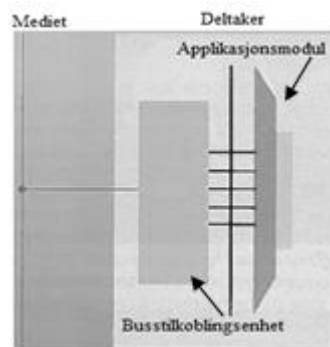
Utstyr som er merket med KNX/EIB, som vist i Figur 5-3, har en erklæring om at produktet er testet i samsvar med KNX retningslinjer og at det støtter KNX sin kommunikasjonsprotokoll. Dette resulterer i at ulike produkter og utstyr kan kombineres til en fungerende installasjon.



*Figur 5-3 KNX godkjent*

KNX har utviklet en åpen standard for buss-systemer i husholdninger og næringsbygg som benytter OSI-modellens oppbygning. Buss-systemet kan blant annet benyttes til kontroll av lys, varme, ventilasjon, overvåking, energioppfølging og måling, samt styring av husholdningsapparater, lyd og bilde.

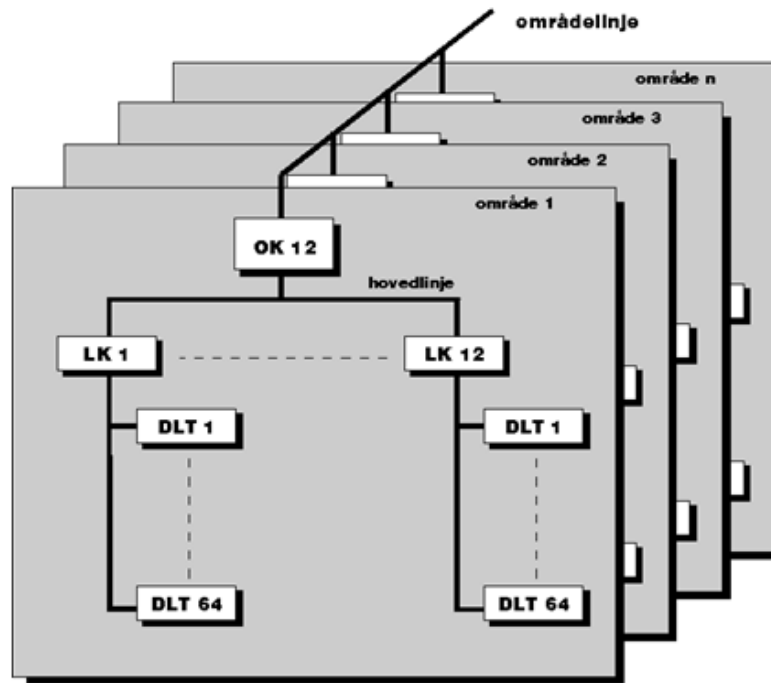
KNX er et desentralisert buss-system, noe som betyr at anlegget ikke trenger en sentralenhet for å kunne kommunisere med hverandre, og systemet vil være operativt selv om en deltaker skulle falle ut. Hver deltaker i buss-systemet har en egen mikroprosessor, intelligensen til deltakeren, og inneholder funksjonaliteten til deltakeren etter den er programmert. Hver deltaker består igjen av en busstilkoblingsenhet og en applikasjonsmodul, som vist i Figur 5-4. Buss-deltakerne kommer i ulike varianter og kan være skinnemontert (DIN-skinne), innfelt i vegg- eller takboks eller montert direkte på vegg.



*Figur 5-4 Eksempel på buss-deltaker [29]*

Informasjonsoverføring i et KNX system kan utføres over alle typer overføringsmedier som er beskrevet for et generelt buss-system. Når busskabel benyttes som overføringsmedium i et KNX buss-system, vil deltakerne være inndelt i en hierarkisk struktur i linjer og områder som vist i Figur 5-5. Den minste buss installasjonen består av en linje med en strømforsyning og to deltakere. Linjen kan maksimalt bestå av 4 linjesegmenter med inntil 64 deltagere til hvert linjesegment. Antall deltagere som kan tilknyttes linjen avhenger av valgt spenningstilførsel og deltakers strømforbruk.

Hvis mer enn én linje benyttes kan inntil 15 linjer kobles til en hovedlinje (backbone), med en linjekobler og danne et område. Hovedlinjen må for øvrig utstyres med egen strømtilførsel med drossel. Inntil 15 områder kan knyttes sammen med hjelp av en områdekobler, og med hjelp av linjeforsterkere kan inntil 58 000 deltakere arbeide sammen. [29]



Figur 5-5 KNX topologi [32]

I et KNX-system har hver buss-linje sin egen strømforsyning og er utført med SELV (Safety Extra Low Voltages). Strømforsyningen mater 29V likespenning inn på bussen via en drossel. Drosselen er lav-ohmig for likespenning og høy-ohmig for vekselspanning, og er derfor en ubetydelig belastning for informasjonsflyten [26]. Informasjonen mellom deltakerne på bussen utveksles med såkalte telegrammer. Overføringsteknologien er lagd slik at busslinjen ikke krever tilpassningsmotstand, og en hvilken som helst topologi kan benyttes med tanke på overføringshastighet, opprettelse og mottak av impulser. Telegrammene blir sendt som digitale pulser og overføres symmetrisk på busskabelen, og deltakerne registrerer informasjonen i telegrammet ved å evaluere spenningsforskjellen mellom lederne. Forstyrrelser i form av støy vil påvirke begge lederne likt og har derfor ingen innflytelse på spenningsforskjellen på signalspenningen.

Informasjonsutvekslingene mellom bussdeltakerne er hendelsesstyrt, det vil si at informasjonen kun overføres fra en deltaker til en annen hvis noe fysisk har skjedd. For å unngå kollisjoner mellom telegrammer og for å unngå tap av informasjon benyttes aksessmetoden CSMA/CD, som ble beskrevet for et generelt buss-system.

Når trådløs overføring (KNX-RF) benyttes som overføringsmedium, har buss-systemet ingen som helst hierarkisk struktur, det vil si ingen inndeling med områder og linjer. De kan

installeres hvor som helst, og alle sensorer kan kommunisere med hvilke styreelementer som helst innenfor dekningsområdet. Områder kan ikke avgrenses, og det betyr at andre trådløse buss deltakere i nærheten kan feilaktig reagere på et sendt telegram. Trådløs informasjonsoverføring blir utført i 868,30 MHz området, noe som er "standard" frekvensområde for de fleste trådløse buss-systemer. For å overføre telegrammet i et KNX-system, benyttes frekvensmodulering med frekvensskift (FSK). De logiske tilstandene skapes ved et lite avvik i bærebølgens frekvens (midtfrekvens på 868,30 MHz). Det vil si at den logiske tilstanden "0" moduleres ved en litt høyere frekvens og den logiske tilstanden "1" moduleres ved en litt lavere frekvens enn midtfrekvensen. Omformingen mellom 0/1 og 1/0 moduleres i henhold til Manchester-koden, som ikke blir beskrevet her. [29]

Programmering og idriftsettelse av et KNX anlegg utføres med programmeringsverktøyet ETS (Engineering Tool Software), som er utviklet av KNX Association. ETS benyttes til å knytte de ulike komponentene sammen og konfigurere dem (angi adresse og applikasjon). ETS2 (1996), ETS3 (2004) og ETS4 (2010) er ulike versjoner av programmet. ETS4 er en oppdatert versjon med tanke på brukergrensesnitt, og brukervennlighet, samt at programmet benytter en brøkdel av tiden på å laste inn ulike produktdata-baser sammenlignet med sine forgjengere.

Alle KNX produkter er delt inn i tre ulike installasjonsmoduser (A-, E-, og S-modus) etter hvordan produktene kan implementeres i installasjonen.

- A-modus komponenter støtter automatisk konfigurering, det vil si at komponentene tilpasser seg selv og finner sin adresse i forhold til andre A-modus komponenter i nettverket. Hver komponent inneholder en fast innstilling av parametere og et bibliotek med instruksjoner hvordan en kommuniserer med andre A-modus komponenter. Denne konfigureringsmetoden er spesielt beregnet for sluttbruker applikasjoner, som for eksempel husholdningsapparater eller tilleggsutstyr til eksisterende installasjon.
- E-modus komponenter har begrensede funksjoner i forhold til S-modus komponenter. Komponentene er ferdig programmert, av for eksempel leverandør, med et standard sett med parametere og funksjoner som er lastet inn i komponenten. Konfigureringen skjer via en sentral kontroller eller ved hjelp av et koderatt/knapper på KNX produktene. Grunnleggende kunnskap om programmeringen fås ved å lese og følge dokumentasjonen til produktene.
- S-modus komponenter programmeres ved hjelp av ETS. S-modus tilbyr den høyeste grad av fleksibilitet, men har i gjengjeld den mest omfattende konfigureringsmetoden.

## 5.4 Beskrivelse av systemer og leverandører

I dette kapittelet presenteres relevante komponenter fra de ulike styringsteknologiene, som kan benyttes til struping av enkeltlaster. Det er innhentet investeringskostnader på de ulike komponentene som er basert på listepriser fra de ulike leverandørene.

### 5.4.1 ABB

ABB (Asea Brown Boveri Ltd) har konsentrert sin virksomhet rundt kraft- og automasjonsteknologi, og avdeling for lavspenningsprodukter tilbyr en rekke intelligente installasjonssystemer med KNX. [33]

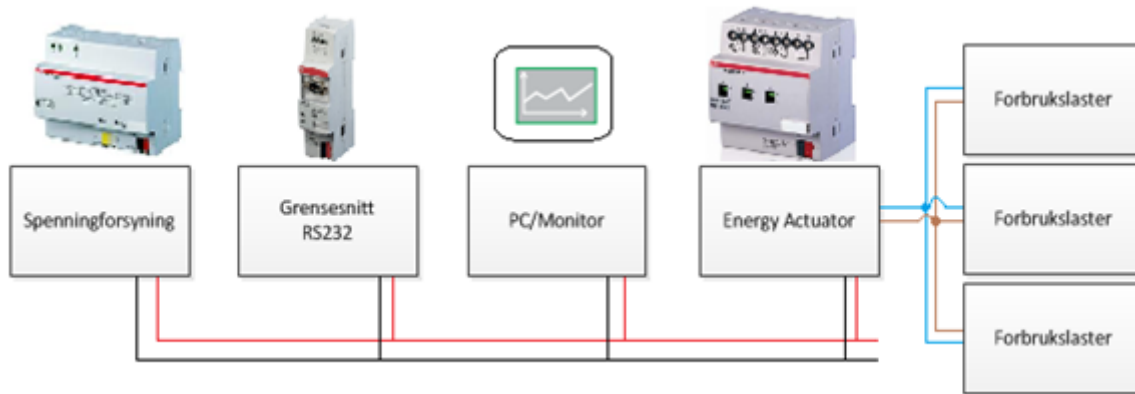


Figur 5-6 Energiaktuator fra ABB [34]

ABB har utviklet en rekke KNX produkter for bruk i intelligente installasjonssystemer for både industri- og privatmarkedet. For overvåking og bryting av enkeltlaster i husholdninger, næringsbygg og industri, har ABB utviklet en KNX energiaktuator (KNX Energy Actuator SE/S 3.16.1) som vist på Figur 5-6.

Energiaktuatoren har tre utganger der energiforbruket, samt aktive- og tilsynelatende effekt, spenning, strøm, frekvens og effektfaktor blir målt individuelt på hver tilkoblet last. De målte verdiene gjøres tilgjengelig via bussen. Når effektforbruket overstiger definerte grenseverdier på mellom 5,7 – 4600 W kan aktuatoren eventuelt sende en advarsel over bussen eller bryte en eller flere utganger.[34][35]

Ved behov for flere utganger kan man koble opp til 10 enheter sammen i en master/slave konfigurasjon, slik at det totalt blir 30 utganger. Masterenheten kan programmeres slik at den bryter en og en last i prioritert rekkefølge, frem til den totale effekten ikke overstiger den definerte grenseverdien. Etter en forhåndsprogrammert tidsforsinkelse vil masterenheten gjeninnkoble lastene i motsatt rekkefølge av utkoblingssekvensen såfremt ikke effekten overstiger grenseverdien. Figur 5-7 viser eksempel på effektstyring av forbrukslaster med KNX produkter fra ABB. [34][35]



Figur 5-7 Effektstyring med lastkontroller (Energy actuator) fra ABB

Denne løsningen vil kun sørge for inn- og utkobling av forbrukslaster hvis effektforbruket overskrider en definert grense, noe som kun innebærer en av de tre definerte utkoblingskriteriene. I tillegg vil denne løsningen kun være aktuell ved rehabilitering som omfatter endring av eksisterende elektroinstallasjonen eller ved nye elektroinstallasjoner. Dette på grunn av at komponentene er basert på overføringsmediet TP. Implementering av denne løsningen i eksisterende husholdninger krever derfor noe ombygging av det elektriske anlegget, noe som vil føre til økte investeringskostnader for sluttbrukeren.

Ulempen med denne løsningen er at man kun måler effekt på tilkoblede laster og ikke på hele installasjonen. Det vil si at forbrukslaster kan bli utkoblet selv om det totale effektforbruket ligger under grenseverdien for hele installasjonen. Skal man ha full oversikt over det totale forbruket må det benyttes en master/slave konfigurasjon der alle kursene i husholdningen blir overvåket. Dette vil føre til en drastisk økning av investeringskostnaden hos sluttbrukeren, siden det er nødvendig med fler lastkontrollere og flere kurssikringer for å dele installasjonen opp i flere prioriterte og uprioriterte kurser. En energiaktuator har ifølge ABB en investeringskostnad på kroner 4671,- eksklusivt mva.

#### 5.4.2 Siemens

Siemens er en ledende leverandør av bærekraftige og miljøvennlige løsninger, og har en visjon om å skape bærekraftige løsninger for morgendagens samfunn. Med den visjonen har de utviklet en rekke KNX produkter som møter morgendagens krav til energisparing, sikkerhet og komfort. [36]

Siemens har utviklet en maksimalvokter (Maksimalvokter N360) som vist på Figur 5-8. Maksimalvokteren er først og fremst tiltenkt for industri- og næringsbyggskunder med et forholdsvis stort energi- og effektforbruk. Grenseverdien til maksimalvokteren strekker seg fra 30 – 1000 kW, noe som i de fleste tilfeller ikke vil være oppnåelig i en tradisjonell husholdning.



Figur 5-8 Maksimalvokter fra Siemens

Maksimalvokteren må tilknyttes en kWh-måler, slik at den får registrert S0-pulsene og derav kalkulere energi- og effektforbruk. Vokteren kan til sammen styre opp til 120 kanaler enkeltvis med ulik prioritert (1 - 10), og alle kanalene kan programmeres med ulike tidsparametere for inn- og utkobling av lastene.

I en husholdning med et overbelastningsvern på 63A og en spenning på 400 V (TN-system) kan maksimalt effektuttak være på opp til 43,65 kW. Med en spenning på 230 V (IT-system) blir maksimalt effektuttak på 25,1 kW. Dette er et effektforbruk som sjeldent vil inntreffer i en husholdning. En maksimalvokter som strekker seg fra 30 kW, vil da ikke gi en reduksjon i energi- og effektforbruket i en husholdning.

Siemens har ingen alternativer for maksimalvokteren for bruk i husholdninger. I følge Siemens kan det være mulig å lage samme funksjon med en Siemens LOGO PLS, med et KNX grensesnitt, men dette er noe de ikke kan garantere [37].

### 5.4.3 Hager

Hager Electro-Plastik oHG, i dag Hager konsernet, består av fem datterselskap bestående av Hager, Berker, Daitem, Diagrall og Efen. Hager er for øvrig det datterselskapet som leverer elektrotekniske installasjonssystemer for bygninger, boliger og næringsseidommer. Hager produserer KNX produktene Tebis KNX, Tebis TX og Tebis Radio KNX, som alle bygger på KNX standarden. [38]

Hager har utviklet en lastkontroller (TJ111) for overvåking og bryting av enkeltlaster. Lastkontrolleren har 1000 lastkontrollkanaler og 10 ulike lasttrinn som kan styres med 3 ulike strategier, samt et visualiseringsprogram (tebis Visualisering) som gir sluttbrukeren tilgang til overvåking av effektforbruket både lokalt og eksternt over internett. Denne lastkontrolleren er i følge Snorre Malvik (Produktsjef hos Hager) ikke lenger tilgjengelig på det norske markedet på grunn av at softwareprogrammet er utdatert [39]. Det vil da si at Hager per i dag ikke har enkeltkomponenter for styring av forbrukslaster, men de har likevel en løsning på denne problemstillingen. Ved å benytte en kWh-måler med KNX utgang av type EC364M og en maksimalvokter som styrer utgangsmøduler som kobler ut laster i en prioritert rekkefølge [39]. Energimålerne fra Hager er ikke godkjent som e-verks måler, men må komme i tillegg til denne hvis ikke e-verksmåleren (AMS-måleren) kommer med KNX utgang.

#### 5.4.4 Eaton

Eaton har konsentrert sin virksomhet rundt elektriske styringer, energidistribusjon, avbruddsfri strømforsyning og industrielle automasjonsprodukter og tjenester. Eaton har utviklet EasyMax, som er en maksimalvokter for effektstyring av forbrukslaster. Maksimalvokteren er et selvstendig produkt, og kan ikke knyttes opp til KNX systemet.

EasyMax har til hensikt å begrense effekttoppene som inntreffer og består av 1 pulsinnang som registrerer S0-pulsene fra kwh-måleren og 6 reléutganger som bryter effekter på opp til 8 A. Det vil si at utgangene benyttes til å styre for eksempel en kontaktor, som kan bryte større effekter. Effektkanalene kobles ut trinnvis inntil effektforbruket kommer over den definerte effektgrensen på mellom 30 – 120kW. Effektgrensene er inndelt i 6 perioder, det vil si individuell effektgrense for januar/februar, mars/april osv, og disse endres manuelt av sluttbruker. Utkoblingssekvensen er programmert slik at kanal 1 alltid kobles først ut og kanal 6 kobles sist ut. De resterende effektkanalene roterer på hvilke som kobles som nummer 2 til 5. EasyMax er vist i Figur 5-9. [40]



Figur 5-9 EasyMaxM6 fra Eaton [40]

Denne løsningen vil i likhet med maksimalvokteren fra Siemens ikke være aktuell i husholdningssammenheng, siden effektgrensen på minimum 30 kW ligger over det som er et normalt effektforbruk i en husholdning. I tillegg vil maksimalvokteren kun sørge for inn- og utkobling av forbrukslaster hvis effektforbruket overskrider en definert grense, noe som kun innebærer en av de tre definerte utkoblingskriteriene. EasyMax har i følge Eaton en investeringskostnad på kroner 10 000,- eksklusivt mva for den minste versjonen med 6 utganger.

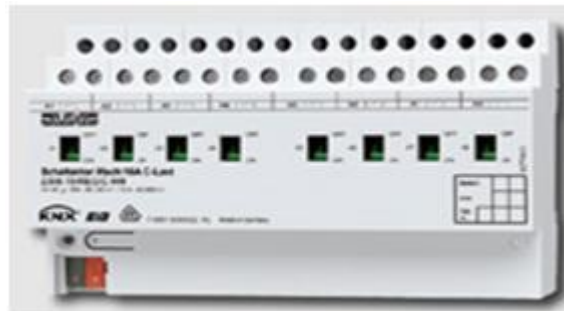
#### 5.4.5 JUNG

JUNG leverer i dag produkter og løsninger til intelligente bygningsinstallasjoner og markedsføres over hele verden av ulike aktører. I Norge markedsføres produktene av Instell AS og Gycom Norge AS. [41]

JUNG har i sin produktportefølje en ”bryteaktuator med kapasitivlast- og strømdeksjon” (”Switch actuator with C-load, and current detection”), se Figur 5-10. Aktuatoren er



tilgjengelig med 4- eller 8 utganger og måler strømmen individuelt på de lastene som er tilkoblet. Aktuatoren har en egen deaktiveringsfunksjon som kan programmeres i ETS, samt at måleverdiene blir tilgjengelig via KNX bussen. Ved å føre den analoge måleverdien tilbake til PLS-enheten, kan effektforbruket beregnes ved hjelp av en matematisk funksjonsblokk. Når dette effektforbruket overstiger en definert grenseverdi, kan PLS-enheten gi tilbakemelding til aktuatoren, som kan koble ut bestemte laster.



*Figur 5-10 Bryteraktuator med kapasitivlast- og strømdeleksjon [42]*

På samme måte som ABB sin energiaktuator, må enten alle forbrukslaster i husholdningen være knyttet til hver sin utgang på aktuatoren, eller energimåleren i husholdningen må kunne kommunisere via overføringsmediet som blir benyttet. Begge løsningene egner seg kun til ny installasjoner eller rehabilitering av eldre husholdninger, siden disse er avhengig av å være tilknyttet et trådbasert overføringsmedie.

#### **5.4.6 Gira**

Gira fokuserer i dag på intelligente bygningsinstallasjoner som øker komforten og sikkerheten til sluttbrukeren, og produserer enheter for blant annet styring av lys, musikk, adgang og energi. I tillegg til at produktene skal ha gode tekniske spesifikasjoner, legger Gira stor vekt på design for sine produkter. Gira blir for øvrig markedsført i Norge av Micro Matic Norge AS. [43]

Gira har i sin produktportefølje en ”DRA plus C-load aktuator”, se Figur 5-11, som kan kombineres med for eksempel en PLS. Aktuatoren har fire utganger og måler strømmen individuelt på de lastene som er tilkoblet. Måleverdiene blir tilgjengelig via KNX bussen. Det kan også settes en grenseverdi for strømmålingen slik at forbrukslaster kan brytes ved for eksempel høyt effektforbruk. Ved å føre den analoge måleverdien tilbake til PLS-enheten, kan effektforbruket beregnes ved hjelp av en matematisk funksjonsblokk. Når dette effektforbruket overstiger en definert grenseverdi, kan PLS-enheten gi tilbakemelding til aktuatoren, som kan koble ut bestemte laster.



Figur 5-11 DRA plus C-load aktuator [44]

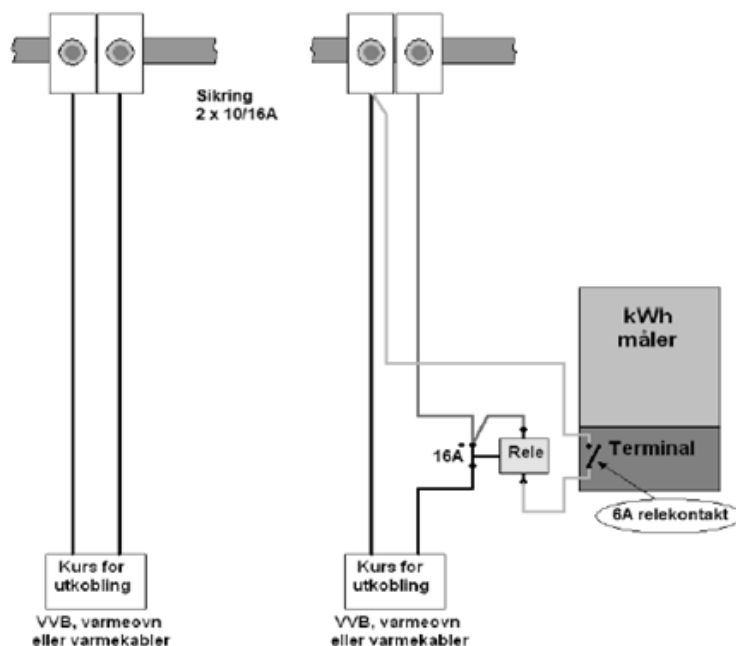
På samme måte som ABB sin energiaktuator og JUNG sin bryteaktuator, må enten alle forbrukslaster i husholdningen være knyttet til hver sin utgang på aktuatoren, eller at energimåleren kan kommunisere over overføringsmediet som blir benyttet. Denne løsningen egner seg kun til nye installasjoner eller rehabilitering av eldre husholdninger, siden disse er avhengig av å være tilknyttet et trådbasert overføringsmedie. Bryteraktuatoren med 4 utganger har i følge Micro Matic Norge AS en investeringskostnad på kroner 3672,- eksklusivt mva.

#### 5.4.7 Smart styring

Smart styring er et produkt Malvik E-verk lanserte i 2010, etter de hadde deltatt i forskningsprosjektet ”Markedsbasert forbrukstilpasning” i regi av Sintef Energi. Formålet med prosjektet var å undersøke om det var mulig å benytte AMS og 2VK til struping av forbrukslaster.

Smart styring baserer seg på fjernstyring av uprioriterte forbrukslaster via den smarte måleren (AMS-måleren), slik som beskrevet tidligere. Malvik E-verk vil da hjelpe sluttbrukeren med å flytte forbruket fra høylasttimer til lavlasttimer og på den måten sørge for at sluttbrukeren betaler mindre for det samme kWh forbruket. Malvik E-verk er for øvrig det første og eneste E-verket i Norge som tilbyr sluttbrukeren denne tjenesten per dags dato.

Selve styringen skjer via en reléutgang i den smarte måleren, som nettselskapet kan legge inn og ut ved hjelp av 2VK og PL overføringsteknologi. Denne teknologien kalles for øvrig for ”Power Line Communication” (PLC). Reléutgangen styrer en kontaktor som sørger for selve inn- og utkoblingen av de uprioriterte forbrukslastene, slik som vist i Figur 5-12.



Figur 5-12 Forbrukskurs med og uten kontaktstyring [45]

Smart styring vil sørge for inn- og utkobling av forbrukslaster både ved høylasttimer og ved knapphet i nettet, noe som innebærer at to av tre definerte utkoblingskriterier er oppfylt. Denne løsningen vil ikke koble ut uprioriterte forbrukslaster ved for høyt effektforbruk, men som i og for seg ikke har så mye å si.

Implementering av denne løsningen i eksisterende husholdninger krever noe ombygging av det elektriske anlegget, siden det ikke er vanlig å etablere funksjonell oppdeling av kurser i elektriske installasjoner i husholdninger. Dette går frem av Vedlegg A, som viser en fordelingsstavle med tilhørende kursfortegnelse fra en eksisterende elektrisk installasjon i en enebolig fra 1979.

Investeringskostnadene til denne type styring er avhengig av kursinndelingen i fordelingskapet og vil derfor variere. Malvik E-verk har installert denne løsningen hos en rekke kunder og oppgir at investeringskostnadene på selve installasjonen varierer fra kroner 1280,- til 6000,- [46].

#### 5.4.8 Andre leverandører

Det er en rekke leverandører som produserer tekniske løsninger for intelligente boliginstallasjoner og styringssystemer som ikke nevnes i denne rapporten. Dette er fordi de ikke har noen komponenter som egner seg til energi- og effektstyringsformålet, men har løsninger der man kan sette sammen ulike komponenter for å oppnå ønsket funksjonalitet. Dette er for eksempel leverandører som Schneider Electric, Micro Matic, Elko, og Berker. Det er valgt og ikke presentere disse løsningene, siden formålet var å presentere løsninger direkte knyttet til komponenter om energi- og effektstyring.

## 6 ENERGI- OG EFFEKTSTYRING

Det finnes ulike komponenter på markedet i dag som kan benyttes til styring og bryting av uprioriterte forbrukslaster, men det har vist seg at det er vanskelig å utføre alle utkoblingskriteriene med en og samme komponent. De fleste produktene som ble presentert i det foregående kapitlet, reduserte kun effektforbruket i husholdningen ved at forbrukslastene kobles ut ved en definert effektgrense.

En sluttbruker er interessert i løsninger som gir en økonomisk gevinst, og for å kunne oppnå denne nytteverdien er det nødvendige med et styresystem som kan koble ut forbrukslaster ved ulike kriterier. For å oppnå dette er det valgt å utforme et eget energi- og effektstyresystem for utkobling av uprioriterte forbrukslaster.

Dette kapitlet tar for seg oppbygningen av energi- og effektstyresystemet, valg av komponenter og løsninger, samt hvordan programmeringsprosessen av det valgte styresystemet har blitt foretatt.

### 6.1 Oppbygging av energi- og effektstyresystem

Det er viktig at styresystemet tar høyde for den teknologiske utviklingen som vil følge med innføringen av AMS i Norge. Det er derfor viktig å utforme et styresystem som tar høyde for dette, og at styresystemet blir basert på en åpen standard slik som blir beskrevet i forskrift om kraftomsetning og netjtjenester. Undertegnende mener den beste løsningen vil være å benytte teknologien innen buss-systemer og PLS-systemer til å utforme et styresystem for utkobling av uprioriterte forbrukslaster.

Et PLS program kan da inneholde selve styreprogrammet, og vil da kunne programmeres for å utføre de utkoblingskriteriene som er beskrevet i kapittel 4.2. PLS-enheten kan styre ulike KNX aktuatorer (releer) via en kommunikasjonsmodul. I tillegg oppfylles kravet til å benytte en åpen standard ved å benytte et KNX-system, samt at KNX komponenter er under stadig teknologisk utvikling. Dette sørger for at systemet vil følge den teknologiske utviklingen og at eldre utstyr da vil være kompatibelt med nytt utstyr, noe som er ønskelig fra myndighetenes side.

De fleste fordelingsskap i eksisterende husholdninger i dag er oppbygd etter blandende kurser. Det vil si at lys, stikkontakter og varme er tilknyttet en fordelingskurs som forsyner et eller flere rom i husholdningen. Dette går også frem av kursfortegnelsen i Vedlegg A, som viser hvordan den elektriske fordelingen er bygd opp i eksisterende eneboliger. For å unngå for store inngrep i den eksisterende elektriske installasjonen, ble det valgt å benytte trådløse KNX komponenter til bryting av forbrukslaster.

De trådløse KNX komponentene kan da styres av PLS-enheten gjennom en kommunikasjonsmodul (gateway). PLS-enheten vil da kunne utføre utkobling ved

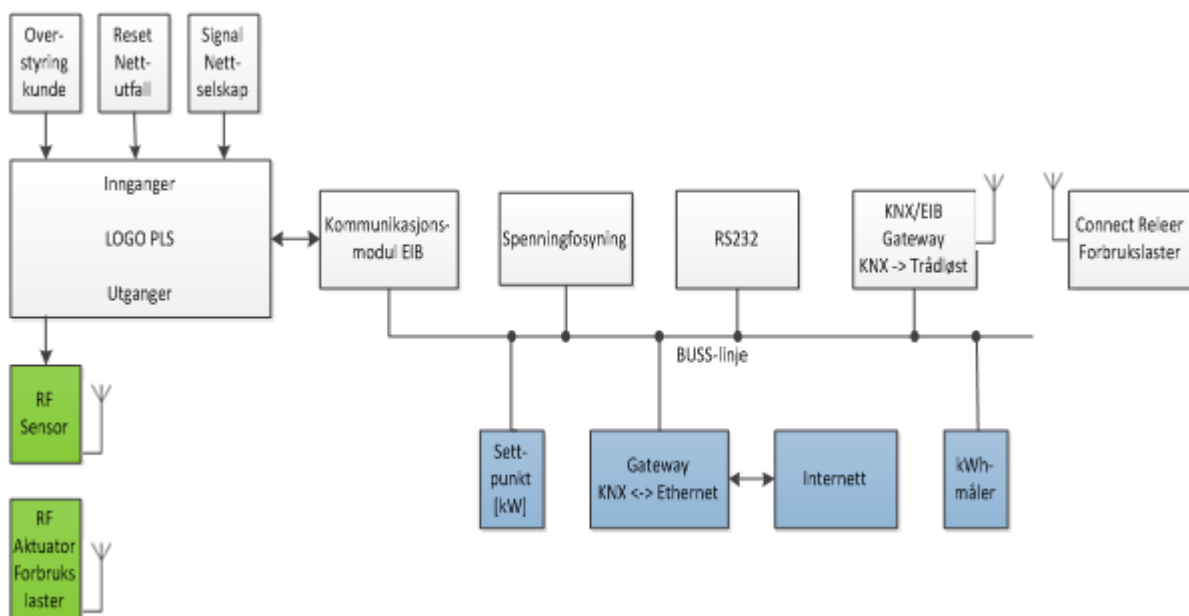
forbruksmønster og spotprisutvikling, samt maksimalt effektforbruk, mens nettselskapene kan koble ut forbrukslastene hvis det skulle oppstå knapphet i nettet.

Ved forbruksmønster og spotprisutvikling vil PLS-enheten automatisk koble ut belastningene. Utkoblingene vil bli foretatt på hverdagene mellom klokken 07:00 og 09:00, og mellom klokken 18:00 og 20:00, som beskrevet i kapittel 4.2. Siden spotprisen vil være høyere i månedene oktober til april vil det være hensiktsmessig å kun foreta automatisk utkobling i disse månedene av året.

Ved maksimalt effektforbruk vil PLS-enheten sammenligne ønsket verdi og målt verdi. Når avviket mellom disse verdiene er større eller lik 0 W, vil lastene bli koblet ut i en definert tidsperiode. Den definerte tiden skal hindre at forbrukslastene kobles ut og inn som en puls, siden avviket etter utkobling med stor sannsynlighet vil bli mindre enn 0 W, og med det oppfylle kriteriet for innkobling av lastene.

Ved knapphet i nettet vil nettselskapet koble ut de uprioriterte forbrukslastene, i maksimalt to timers intervaller. Dette kan gjøres ved hjelp av reléutgangen i kWh-måleren som styres for eksempel via kommunikasjon over kraftnettet (PLC) eller via kommunikasjon over internett. For at komfortnivået til sluttbrukeren kan kunne opprettholdes, uavhengig av utkoblingskriteriene, har PLS-enheten en inngang for overstyring som kan aktiveres av sluttbruker.

Figur 6-1 viser den prinsipielle oppbygningen av systemet, og gir et overblikk over hvilke komponenter som kan implementeres i systemet. De blå og grønne blokkene er funksjoner som ikke er implementert i det fysiske styresystemet, men det er likevel laget et styreprogram som lar de implementeres ved en senere anledning.



Figur 6-1 Prinsipiell oppbygningen av energi- og effektstyringssystemet

De blå blokkene viser en metode for overføring av styresignal fra nettselskaper og hvordan det målte effektuttaket, samt ønsket effektgrense, kan leses inn i systemet. Det finnes i dag AMS målere som kan kommunisere med KNX, blant annet utstyr fra Lingg&Janke, Siemens, ABB og Kamstrup. Ved å benytte slike målere kan energiforbruk, aktiv effekt, og lignende enkelt overføres til PLS-enheten, på lik linje med ønsket effektgrense via KNX-systemet.

De grønne blokkene kan benyttes når det er mangel på ledig kapasitet i sikringsskapet. Disse blokkene representerer trådløse sensorer og aktuatorer som kan styres av de fysiske utgangene på en PLS. Denne løsningen vil ha lavere investeringskostnader enn ved bruk av produkter som er tilkoblet buss-linjen, men har mindre tilkoblingsmuligheter og funksjoner.

For å lese inn informasjon knyttet til energi- og effektforbruket, må PLS-enheten være knyttet til KNX-systemet. Dette kan gjøres ved å benytte; en EIB kommunikasjonsmodul, en spenningsforsyning, en USB interface og en kWh-måler med KNX utgang.

### 6.1.1 Valg av komponenter

For at energi- og effektstyresystemet skal kunne implementeres i en ordinær boliginstallasjon, er det viktig at komponentene ikke tar for stor plass. Dette for å muliggjøre installasjon i et eksisterende fordelingskapet. Det er derfor tatt utgangspunkt i et sikringsskap med én ledig modulrekke av 21 moduler. Dette tilsier en ledig kapasitet på 420 mm, ved en modulbredde på 20 mm.

For styring av selve operasjonene, er det valg å benytte en LOGO! PLS fra Siemens, som vist i Figur 6-2. Det kunne for så vidt blitt benyttet en hvilken som helst PLS, men fordelene med LOGO! PLS er at den kan kommunisere med KNX systemet med hjelp av en EIB kommunikasjonsmodul. I tillegg har PLS-enheten lave investeringskostnader og okkuperer liten plass i fordelingen. PLS-enheten som ble benyttet i dette oppsettet er av type LOGO! 230RC versjon 0BA4.



Figur 6-2 LOGO! PLS fra Siemens

LOGO! er en liten logisk kontroller med 8 fysiske innganger og 4 fysiske utganger som kan utføre en mengde enkle automasjonsoppgaver i både industri, næringsbygg og husholdninger. Et bredt spekter av moduler gjør det mulig å individuelt utvide enheten til 24 digitale innganger, 16 digitale utganger, 8 analoge innganger og to analoge utganger. LOGO! kan enkelt programmeres til å oppnå ønsket funksjonalitet ved hjelp av programvaren LOGO! Soft Comfort eller via displayet på selve modulen.

For å minimere endringer i den elektriske installasjonen i husholdningen, er det valgt å benytte en kombinasjon av trådløse og trådbaserte KNX komponenter fra Siemens. Selve inn- og utkoblingene av forbrukslaster blir foretatt av de trådløse komponentene til Siemens (GAMMA Wave KNX-RF).

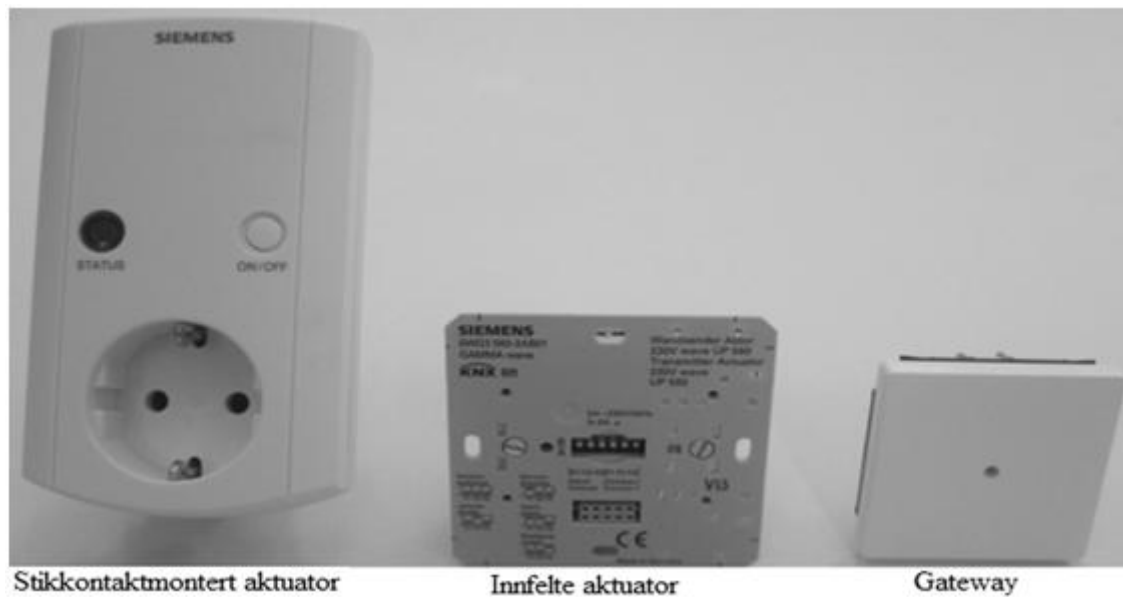
Det ble valgt å benytte Siemens komponenter siden undertegnede synes at dette systemet har kommet lengst i utviklingene av både tråd og trådløse KNX verifiserte komponenter.

LOGO! modulen vil bli tilknyttet KNX systemet gjennom nevnte kommunikasjonsmodul. KNX systemet som er tilknyttet LOGO! modulen består av en spenningsforsyning, en RS232 interface (grensesnittmodul) og en connector (forbinder), som vist i Figur 6-3.



*Figur 6-3 KNX produkter fra Siemens som er tilknyttet LOGO! Modulen*

Forbrukerlastene er tilkoblet trådløse aktuatorer (binærutganger). De trådløse komponentene består av to stikkontaktmonterte aktuatorer og to stykker innfelte aktuatorer, som vist i Figur 6-4 sammen med nevnte gateway mellom det trådbaserte og det trådløse systemet.



Figur 6-4 Trådløse KNX komponenter fra Siemens for bryting av uprioriterte laster

Enkelte benyttede komponenter er av eldre utgave, og ble hentet fra et laboratorieoppsett som benyttes i undervisningssammenheng. Dette er en spenningsforsyning, en interface og en connector. Det ble benyttet en 640 mA spenningsforsyning i dette oppsettet, siden dette var en komponent NTNU hadde tilgjengelig. Det hadde vært tilstrekkelig med en spenningsforsyningen på 160 mA.

Når det gjelder RS232 grensesnittmodulen mellom PC og KNX systemet er denne utgått på dato og man benytter i dag et USB grensesnitt mellom disse enhetene. De ulike komponentene som ble benyttet, er listet opp i Tabell 6-1.

Tabell 6-1 Utstyrsliste for styresystemet

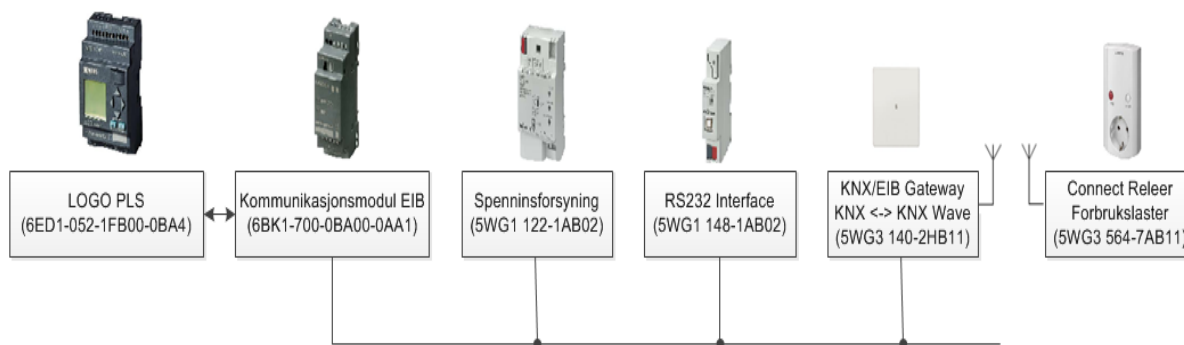
El.nummer	Type	Fabrikat	Modell
45 103 58	LOGO! 230RC	Siemens	6ED1-052-1FB00-0BA4
45 103 08	LOGO! Kommunikasjonsmodul EIB	Siemens	6BK1-700-0BA00-0AA1
	Industriell spenningsforsyning 230AC/24DC	Traco Power	TCL 060-124
	Instabus EIB Spenningsforsyning 640 mA	Siemens	5WG1 122-1AB02
	Interface RS232	Siemens	5WG1 148-1AB02
	Connector N191	Siemens	5WG1 191-1AB01
45 408 02	Buskoppler UP114	Siemens	5WG1 114-2AB02
45 404 35	Coupler wave/instabus UP140	Siemens	5WG3 140-2HB11
45 403 62	Outlet switch wave S564	Siemens	5WG3 564-7AB11
45 404 02	Innfelt transmitter aktuator 230V Wave	Siemens	5WG3 560-2AB01
	Miniatyr vippebryter	Tayway	100-DP-1-T1B1M1Q
15 117 33	Påvegg stikkontakt	Elko	RS 1090 PT
10 701 61	PL 300V 2 x 0,75 mm <sup>2</sup>		



### 6.1.2 Montasje av komponenter

For å få et oversiktlig styreprogram for programmering og testing, ble det valgt å montere de ulike komponentene på et laboratoriebrett. Dette reduserer i tillegg sannsynligheten for at de ulike komponentene forsvinner, slik de har en tendens for å gjøre. Figur 6-5 viser en oversikt over hvordan komponentene er knyttet sammen, mens et komplett oppsett av selve energi- og effektstyresystemet er vist i Vedlegg B.

Komponentene har en total montasjebredden på 350 mm ved bruk av disse komponentene, men hadde man benyttet en ny type spenningsforsyning og interface ville montasjebredden blitt 260 mm, noe som tilsvarer 13 moduler. Bredden er likevel innenfor forutsetningen om en montasjebredden på 420 mm.



Figur 6-5 Energi- og effektstyring med KNX komponenter fra Siemens

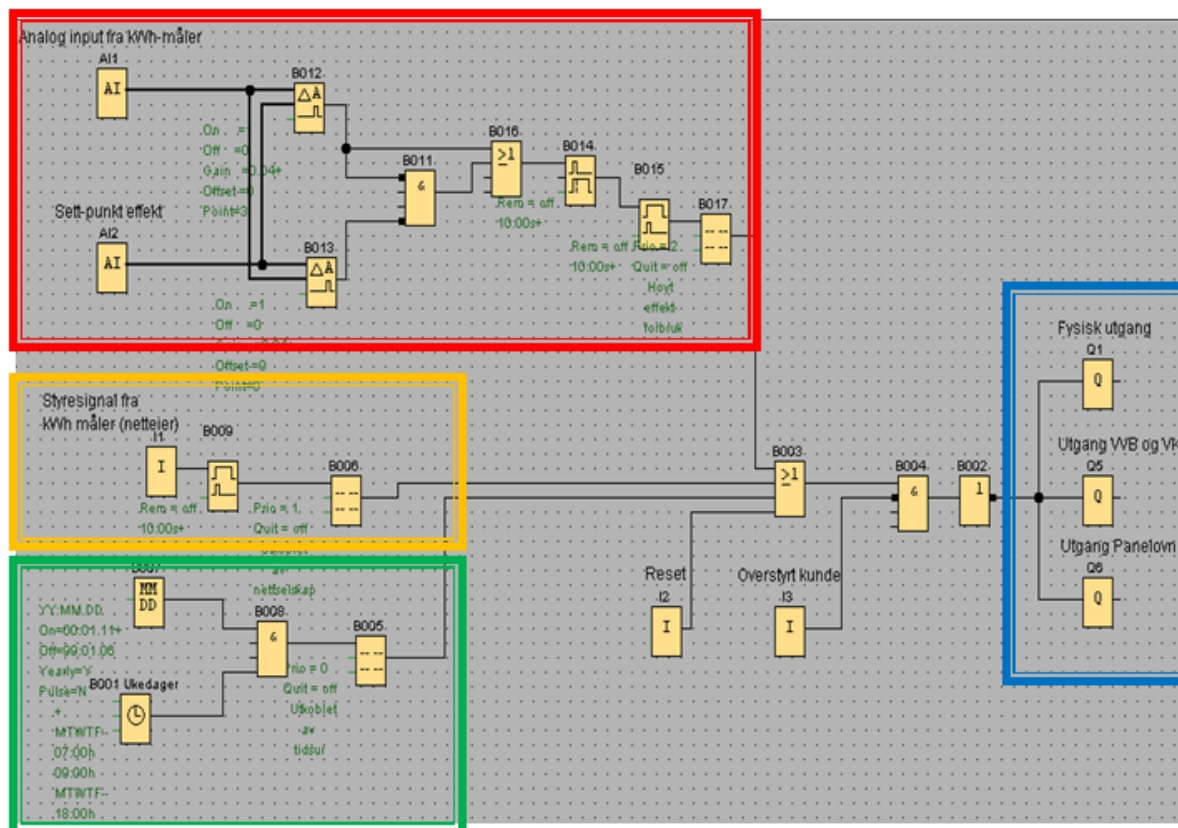
## 6.2 Programmering

De valgte komponentene må spille på lag for å oppnå ønsket funksjonalitet, og det er derfor nødvendig å gi ulike parametere til de ulike komponentene i oppsettet. Hvordan de ulike komponentene ble konfigurert blir beskrevet i dette kapittelet.

### 6.2.1 Oppsett av PLS

Det ble tidligere nevnt at en LOGO! kan programmeres ved hjelp av programvaren LOGO! Soft Comfort, eller via displayet på selve modulen. For å kunne simulere programmet ble det valgt å programmere med hjelp av LOGO! Soft Comfort V7.0, som er den siste versjonen av programvaren.

LOGO! Soft Comfort er basert på logiske blokker, som knyttes sammen for å oppnå ønsket funksjon av programmet, men en kan i tillegg knytte ulike funksjoner sammen i et ladder diagram. Undertegnende har benyttet logiske blokker for å oppnå ønsket funksjonalitet av styreprogrammet i dette prosjektet, og Figur 6-6 viser hvilke logiske blokker som er knyttet sammen.



Figur 6-6 PLS program for energi- og effektstyring

Programmet er utstyrt med 3 fysiske innganger, representert ved  $I_1$ ,  $I_2$  og  $I_3$ , samt to analoge innganger fra KNX-systemet.  $I_1$  representerer styresignalet fra reléutgangen på nettselskapets kWh-måler,  $I_2$  representerer en reset funksjon hos sluttbrukeren og  $I_3$  representerer overstyringsfunksjonen til sluttbrukeren. De analoge signalene  $AI_1$  og  $AI_2$  representerer henholdsvis målt aktiv effekt ( $P_{\text{målt}}$ ) og definert effektgrense ( $P_{\text{grense}}$ ).

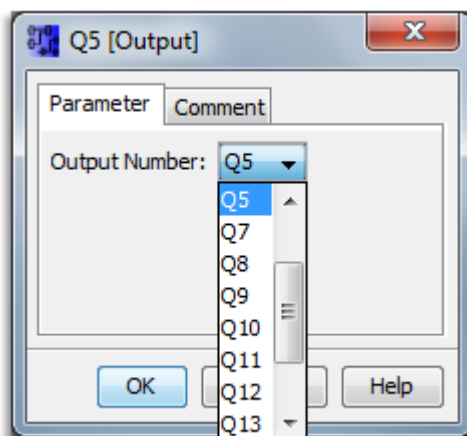
De logiske funksjonene som er plassert i den røde rammen er knyttet til effektstyringen av anlegget. De logiske funksjonene representerer en komparator som sammenligner aktiv effekt og definert effektgrense, slik som beskrevet tidligere. Komparatoren gir et signal til tidsfunksjonsblokkene når  $P_{\text{målt}} \geq P_{\text{grense}}$ , som hindrer at lastene blir koblet direkte inn etter utkobling. Forbrukslastene vil være utkoblet i et gitt tidsintervall på 2 timer, eller frem til sluttbruker velger å overstyre utkoblingen. De analoge verdiene for  $P_{\text{målt}}$  og  $P_{\text{grense}}$  leses inn i LOGO! modulen gjennom KNX systemet.  $P_{\text{målt}}$  blir hentet fra en kWh-måler som er tilknyttet KNX systemet, og  $P_{\text{grense}}$  endres av sluttbruker direkte på LOGO! modulen i dette prosjektet. Man kan laste inn grenseverdiene over internett, hvis KNX systemet er tilknyttet ett nettverk over en KNX/Ethernet gateway. Teksten "Høyt effektforbruk" genereres på displayet til LOGO! modulen av tekstblokkfunksjonen hvis dette utkoblingskriteriet oppfylles.

De logiske funksjonene som er plassert i den oransje rammen er knyttet til styresignalet fra nettselskapet. Inngangen  $I_1$  er knyttet til reléutgangen på AMS-måleren, og sørger for at

funksjonsblokken ”wiping relay” (pulsutgang) genererer et utgangssignal i et konfigurert tidsintervall så lenge reléutgangen fra måleren ligger inne. Det konfigurerte tidsintervallet ble definert til 2 timer, noe som vil si at nettselskapet maksimalt kan koble ut uprioriterte forbrukslaster i inntil 2 timer av gangen. ”Utkoblet av nettselskap” genereres på displayet til LOGO! modulen hvis dette utkoblingskriteriet oppfylles.

De logiske funksjonene som er plassert i den grønne rammen er knyttet til den automatiske utkoblingen av de uprioriterte forbrukslastene. Den ukentlige timer funksjonen genererer et utgangssignal fra klokken 07:00 til 09:00 og fra klokken 18:00 til 20:00 på hverdagene (mandag til og med fredag). Den automatiske utkoblingen begrenses av en årlig timer, som sørger for automatisk utkobling kun i vinterhalvåret. ”Utkoblet av tidsur” genereres på displayet til LOGO! modulen hvis dette utkoblingskriteriet oppfylles.

De logiske funksjonene som er plassert i den blå rammen er knyttet til fysiske og virtuelle utganger i LOGO! modulen. De virtuelle utgangene (Q<sub>5</sub> og Q<sub>6</sub>) er knyttet til KNX systemet og konfigureres ved å høyereklikke på utgangen (Q), og deretter på *blokk egenskaper* (”Block properties”). Her kan man velge ulike virtuelle utganger fra Q<sub>5</sub> til Q<sub>16</sub>, slik som vist i Figur 6-7. Det hadde vært hensiktsmessig å ha en forsinket innkobling på en av forbrukslastene, slik at det ikke fører til en peak i nettet når alle lastene kobles inn samtidig. Det er ikke blitt gjort i dette programmet, men et forslag til et slikt program vises i Vedlegg C.



Figur 6-7 Blokkegenskaper i LOGO! Soft Comfort

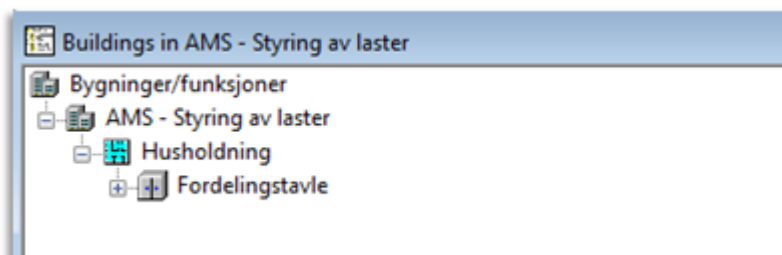
De logiske blokkene som har blitt benyttet har ulike funksjoner og parametere som må endres før programmet lastes over til den logiske modulen. En beskrivelse av disse logiske funksjonene, er vist i Vedlegg D [47].

## 6.2.2 Oppsett av KNX system

Programmering og idriftsettelse av et KNX-system ble utført med programmeringsverktøyet ETS. Det var tiltenkt å benytte den siste versjonen av programmet, nemlig ETS4, siden dette har bedre brukergrensesnitt og brukervennlighet. Det viste seg imidlertid at enkelte KNX produkter ikke støttet programmering med ETS4, og det ble derfor nødvendig å benytte ETS3 til å utføre programmeringsoppgavene.

Dette programmet inneholder kun et område, bestående av en linje med totalt 5 deltakere som er tilkoblet buss-linjen, og i tillegg er 4 deltakere tilkoblet buss-linjen via trådløs overføring. Alle komponenter som er fysisk tilkoblet buss-linjen skal være plassert i fordelingsskapet, resten av komponentene plasseres i ulike rom i husholdningen.

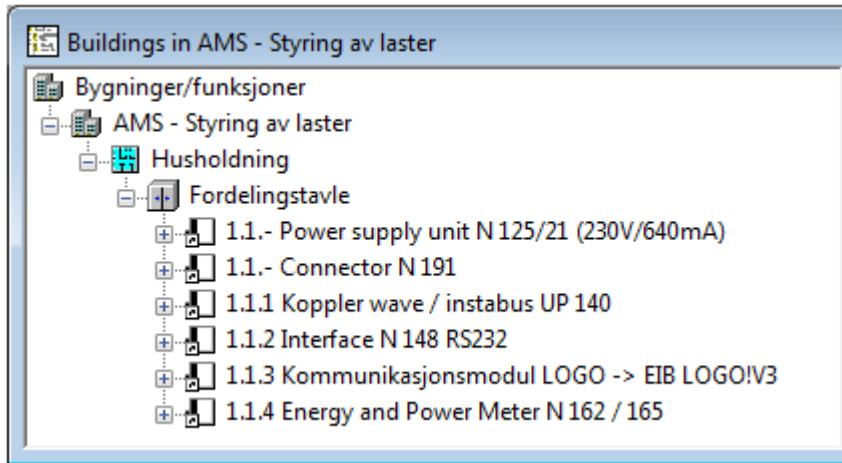
Når man har opprettet et prosjekt i ETS må man dele installasjonen inn i nivåer, det vil si at man deler installasjonen inn etter hvilket nivå i bygningen man befinner seg. I dette programmet er det naturlig å dele installasjonen inn i et hovednivå, et mellomnivå og et undernivå, siden programmet vil bestå av kun en hovedlinje med 5 deltakere i en husholdning. Inndelingen av de ulike nivåene i husholdningen er vist i Figur 6-8. De ulike bygningsdelene legges til ved å høyereklikke over "Bygninger/funksjoner", som er et predefinert nivå, og deretter "Add building".



Figur 6-8 Inndelingen av de ulike nivåene

Hovednivået "AMS – Styring av laster", er kun en overskrift for energi- og effektstyringsprogrammet. "Husholdning" er programmets mellomnivå, men kunne vært delt inn i ulike etasjer, for eksempel "Kjeller", "1. Etasje", og lignende, avhengig av hvor de ulike buss-deltakerne er plassert. Undernivået kunne vært delt inn i ulike rom avhengig av hvilket mellomnivå man befant seg på, men siden alle bussdeltakerne som er fysisk tilkoblet bussen skal plasseres i sikringsskapet, er det valgt å kalle undergruppen for "Fordelingstavle".

De ulike komponentene hentes fra databasen til komponentene, som for øvrig må lastes inn i ETS. Deretter legges komponentene inn i "Fordelingstavlen", slik som vist i Figur 6-9. Databasen inneholder funksjonene til de ulike komponentene som ble benyttet og kan lastes ned fra komponentprodusenten sin hjemmeside.

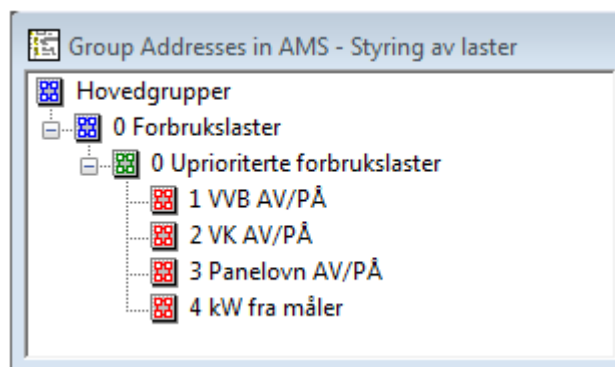


Figur 6-9 Innsetting av komponenter fra databasen

I ETS er det ikke nødvendig å legge til databasen for RS232 Interface eller connector N191, siden disse defineres som en slags "dummy device" som lar telegrammet passere. Komponentene ble likevel lagt til for å illustrere hvilke komponenter som har blitt benyttet i programmet.

For at komponentene skal kunne utføre de funksjonene som er tiltenkt for anlegget, nemlig koble inn og ut forbrukslaster, må det opprettes gruppeadresser som knytter de forskjellige komponentene sammen. Det er viktig å lage en oversiktlig inndeling av de ulike funksjonene, slik at det er enkelt å foreta endringer ved en senere anledning.

Dette programmet er delt inn i en hovedgruppe ("Forbrukslaste"), en mellomgruppe ("Uprioriterte forbrukslaste") og fire undergrupper ("VVB AV/PÅ", "VK AV/PÅ", "Panelovn AV/PÅ" og "kW fra måler"), som vist på Figur 6-10. Undergruppene inneholder de ulike forbindelsene mellom forskjellige objekter, slik at man kan oppnå ønsket hendelse fra ulike komponenter.



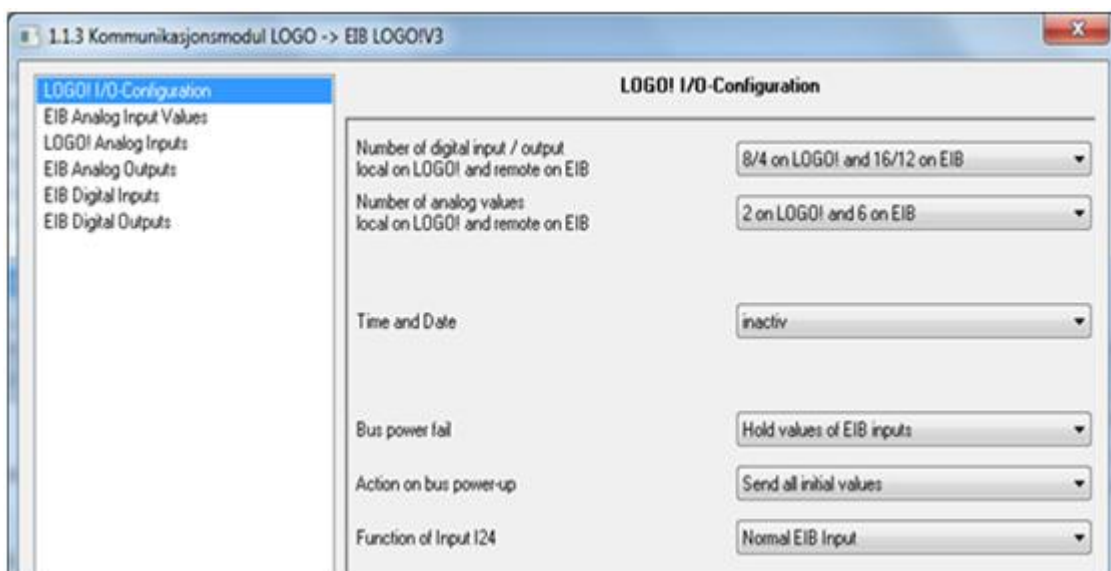
Figur 6-10 Gruppeadresser for modellen

Komponentene inneholder forskjellige funksjoner, som for eksempel dimming, av og på og lignende. Hver av disse funksjonene kalles objekter, og det er disse som knyttes sammen i

de ulike undergruppene. Det er viktig at de objektene som knyttes sammen har lik bit/byte lengde, det vil si likt antall bit eller byte på telegrammet som sendes/mottas. Et objekt med 1 bit kan ikke hente informasjonen fra et telegram som inneholder 1 byte, og visa versa.

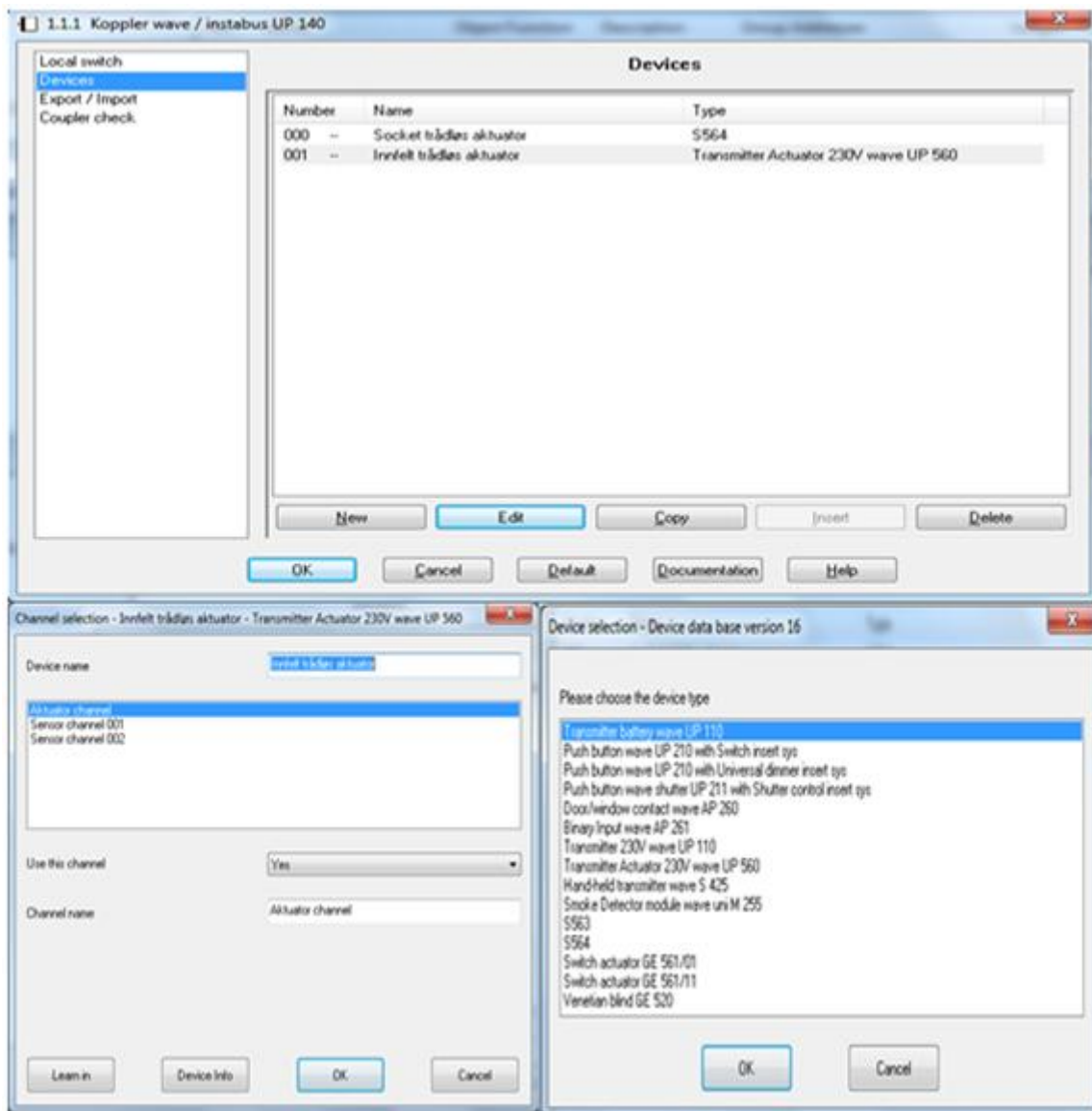
Konfigurasjon av komponentene er viktig, slik at de objektene som benyttes har riktig funksjon og parametere. I dette systemet er det kun nødvendig å konfigurere LOGO! Kommunikasjonsmodul, energimåleren og UP140 wave coupler, da de andre komponentene defineres som ”dummy device”.

Kommunikasjonsmodulen til PLS-enheten må konfigureres slik at de virtuelle utgangene som er benyttet i LOGO! programmet kan benyttes som innganger i ETS programmet. Dette gjøres ved å sette alle analoge inn- og utganger til ”*inactiv*” og alle digitale inn- og utganger settes til ”*Normal*”, samt at antall analoge og digitale inn- og utganger endres, slik som vist på Figur 6-11. Hvis man skal laste inn verdier fra energimåleren, noe som ikke ble foretatt i dette prosjektet, må man sette en LOGO! Analog input til ”EIB-floating point”.



Figur 6-11 Konfigurasjon av LOGO! Kommunikasjonsmodul

Gatewayen (UP140) mellom KNX-systemet og det trådløse systemet ble konfigurert slik at den vet hvilke enheter den skal søke etter. Dette ble gjort ved å legge de trådløse enhetene til gatewayen. Ved å klikke på ”*new*”, vil de ulike komponentene som kan legges til programmet dukke opp. I den øvre delen av Figur 6-12, vises hvilke komponenter som skal legges til og konfigureres.



Figur 6-12 Konfigurasjon av UP140 Wave coupler

De valgte trådløse enhetene ble så koblet opp til gatewayen og gitt en adresse. ETS programmet søker opp de valgte trådløse enhetene, ved å starte applikasjonsprogrammet "Learn in".

For at programmet skal finne de trådløse enhetene, må disse aktiveres. Dette ble gjort på to forskjellige måter. Den stikkontaktmonterte aktuatoren ble aktivert ved å holde "on/off"-knappen inne til statusdioden begynte å blinke, mens den innfelte aktuatoren ble aktivert ved hjelp av DIL-brytere på komponenten. Riktig konfigurering ble belønnet med raske blink fra statusdioden i et par sekunder. Da parametrene var endret og de trådløse komponentene var konfigurert, ble objektene knyttet sammen, slik som vist i Figur 6-13.



<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Hovedgrupper</li> <li>☑ 0 Forbrukslaster           <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 0 Uprioriterte forbrukslaster</li> <li>☑ 1 VVB AV/PÅ</li> <li>☑ 2 VK AV/PÅ</li> <li>☑ 3 Panelovn AV/PÅ</li> </ul> </li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Device</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28: Digital Output EIB (Q5) - Output</td> <td>1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -&gt; EIB LOGO!V3</td> </tr> <tr> <td>20: Innfelt trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / Aus</td> <td>1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Device	28: Digital Output EIB (Q5) - Output	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3	20: Innfelt trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / Aus	1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140
Object	Device						
28: Digital Output EIB (Q5) - Output	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3						
20: Innfelt trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / Aus	1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140						
<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Hovedgrupper</li> <li>☑ 0 Forbrukslaster           <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 0 Uprioriterte forbrukslaster</li> <li>☑ 1 VVB AV/PÅ</li> <li>☑ 2 VK AV/PÅ</li> <li>☑ 3 Panelovn AV/PÅ</li> </ul> </li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Device</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28: Digital Output EIB (Q5) - Output</td> <td>1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -&gt; EIB LOGO!V3</td> </tr> <tr> <td>20: Innfelt trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / Aus</td> <td>1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Device	28: Digital Output EIB (Q5) - Output	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3	20: Innfelt trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / Aus	1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140
Object	Device						
28: Digital Output EIB (Q5) - Output	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3						
20: Innfelt trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / Aus	1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140						
<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Hovedgrupper</li> <li>☑ 0 Forbrukslaster           <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 0 Uprioriterte forbrukslaster</li> <li>☑ 1 VVB AV/PÅ</li> <li>☑ 2 VK AV/PÅ</li> <li>☑ 3 Panelovn AV/PÅ</li> </ul> </li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Device</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>29: Digital Output EIB (Q6) - Output</td> <td>1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -&gt; EIB LOGO!V3</td> </tr> <tr> <td>10: Socket trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / A...</td> <td>1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Device	29: Digital Output EIB (Q6) - Output	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3	10: Socket trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / A...	1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140
Object	Device						
29: Digital Output EIB (Q6) - Output	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3						
10: Socket trådløs aktuator.Aktuator channel - Schalten, Ein / A...	1.1.1 Koppler wave / instabus UP 140						
<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Hovedgrupper</li> <li>☑ 0 Forbrukslaster           <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 0 Uprioriterte forbrukslaster</li> <li>☑ 1 VVB AV/PÅ</li> <li>☑ 2 VK AV/PÅ</li> <li>☑ 3 Panelovn AV/PÅ</li> <li>☑ 4 kW fra måler</li> </ul> </li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>Device</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40: Analog Input 1 LOGO! - IEEE-Float</td> <td>1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -&gt; EIB LOGO!V3</td> </tr> <tr> <td>3: Active power (W) Phase L1 - Value</td> <td>1.1.4 Energy and Power Meter N 162 / 165</td> </tr> </tbody> </table>	Object	Device	40: Analog Input 1 LOGO! - IEEE-Float	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3	3: Active power (W) Phase L1 - Value	1.1.4 Energy and Power Meter N 162 / 165
Object	Device						
40: Analog Input 1 LOGO! - IEEE-Float	1.1.3 Kommunikasjonsmodul LOGO -> EIB LOGO!V3						
3: Active power (W) Phase L1 - Value	1.1.4 Energy and Power Meter N 162 / 165						

Figur 6-13 Undergrupper med tilknyttede objekter

Som det går frem av Figur 6-13, ble de virtuelle utgangene fra PLS-programmet knyttet opp til de trådløse aktuatorene. Måleren overfører i dette tilfellet kun kW verdier fra en av fasene, nemlig L1. Skal kW verdier fra L2 og L3 overføres til PLS-programmet, må det defineres ytterligere to undergrupper, en for hver fase, og knytte disse opp til objektene ”Analog Input 2” og ”Analog Input 3” i kommunikasjonsmodulen.



## 7 UTPRØVING AV STYRESYSTEM

Det hevdes at strupefunksjonen vil tilføre stor nytteverdi for aktører i kraftmarkedet, og det er derfor ønskelig å dokumentere hvor stor nytteverdi strupefunksjonen har for disse aktørene. Det vil derfor bli foretatt et eksperimentelt forsøk for å undersøke om strupefunksjonen og det utviklede styresystemet vil gi en reduksjon i energi- og effektforbruket til sluttbrukeren. Forsøket skal i tillegg avdekke om styresystemet fungerer som tilsiktet og om styresystemet er krevende å implementere i den eksisterende installasjonen.

Dette kapittelet består av to hoveddeler som tar for seg utprøvingen av styresystemet. Først beskrives målekriteriene for forsøkene. Videre beskrives de eksperimentelle oppsettene og testprosedyrene som har blitt benyttet i forsøket.

### 7.1 Målekriterier

Hvis alle måleobjektene var helt like, ville det være nok å undersøke en enhet, men dette er sjeldent eller aldri tilfelle. Hvis man måler samme variabel hos flere enheter vil man som regel få variasjoner i målingene. Kvaliteten på analysen er derfor knyttet til hvor gode de innsamlede dataene er, og målingene bør derfor følge følgende kriterier:

- Representere et representativt utvalg av den norske befolkningen.
- Representere et tilfeldig utvalg av befolkningen.
- Må ha pågått over et langt nok tidsintervall.
- Må ikke påvirke bruksmønsteret til sluttbrukeren under måleperioden.

Denne oppgaven strekker seg over et semester, og det har vist seg vanskelig å gjennomføre en tilstrekkelig lang måleperiode. I tillegg har det vist seg vanskelig å gjennomføre dette i et representativt antall husholdninger. Følgende kriterier ble derfor bli lagt til grunn for målingene:

- Tidsintervall på 4 dager (hverdager)
- Uendret bruksmønster
- Tilnærmet lik utetemperatur i måleperiodene

### 7.2 Måleoppsett og måleprosedyre

Det eksperimentelle forsøket ble foretatt i en sokkelleilighet på 55 m<sup>2</sup> i Trondheim. Sokkelleiligheten ligger i en enebolig i fra 1960-tallet, og består av 3 etasjer (sokkel, 1.- og 2. etasje) på til sammen 210 m<sup>2</sup>. Husholdningen har bestått av 2 personer og den elektriske

installasjonen i leiligheten inneholdt et enfaset overbelastningsvern på 40 A, 1 automatsikring på 20 A og 5 automatsikringer på 10 A.

For å undersøke om styresystemet vil gi en reduksjon av energi- og effektforbruket i høylasttimer har det blitt gjennomført to laboratorieforsøk, der det ene forsøket var uten energi- og effektstyring. Måleperioden tar kun for seg energi- og effektforbruket på hverdager (mandag til og med torsdag) og målingene ble utført i uke 18 og 20, der styresystemet ble innkoblet i uke 20.

Det ble utført utkobling av varmekabel på bad, varmtvannsbereder og en panelovn. Leiligheten inneholdt ingen fryseboks, så denne uprioriterte forbrukslasten ble derfor ikke tatt med i dette forsøket. Panelovnen i leiligheten ble styrt av en trådløs stikkontaktmontert aktuator, mens de andre uprioriterte forbrukslastene ble styrt av en innfelt trådløs aktuator.

I begge forsøkene ble måleinstrumentet Power Quality Analyzer 433/434 fra Fluke benyttet, siden leiligheten ikke har installert avansert måle- og styresystem med timesregistrering av energiforbruket. Måleinstrumentet som ble benyttet er vist i Figur 7-1, og en komplett liste over utstyr som ble benyttet i forsøket er vist i Vedlegg E.



*Figur 7-1 Fluke 433/434 Power Quality Analyzer [48]*

Måleinstrumentet logger blant annet strøm, spenning, energi, effekt, effektfaktor, faseforskyving med intervaller fra 1 sekund og opp til et døgn. Apparatet logger energi- og effektforbruk med henholdsvis 1,5 og 1 prosent nøyaktighet, noe som er lavere enn de kravene som stilles til energimålere i "Forskrift om krav til elektrisitetsmålere".

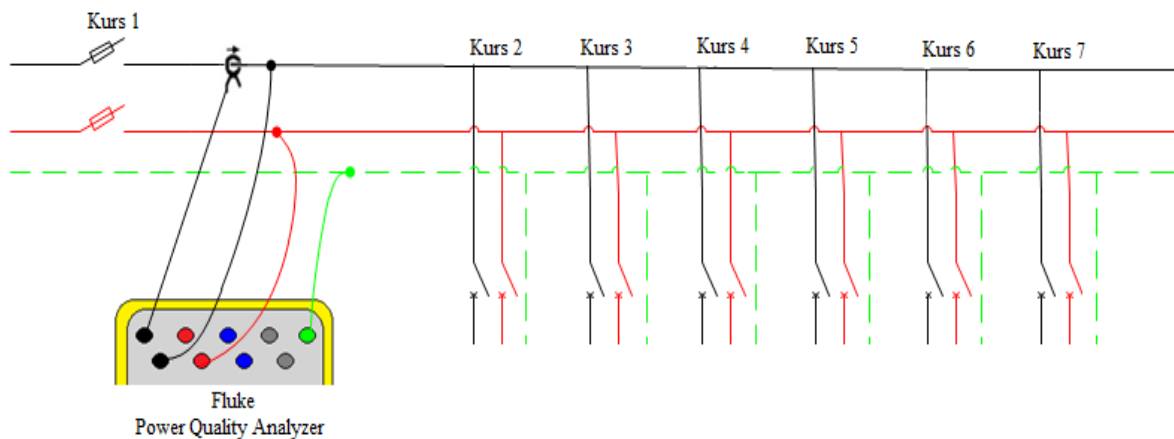
Måledataene lagres på en minnebrikke internt i måleapparatet, og kan enkelt overføres til en datamaskin ved hjelp av programmet "PowerLog" fra Fluke. Fra dette programmet kan

måledataene enkelt overføres til for eksempel Microsoft Excel eller Matlab for videre bearbeiding av måleresultatene.

### 7.2.1 Oppsett uten energi- og effektstyring

Det ble først foretatt målinger av effekt- og energiforbruket uten utkobling av uprioriterte forbrukslaster. Måleinstrumentet ble koblet opp som vist i Figur 7-2, og Figur 7-3, og målekonfigurasjonen til instrumentet ble innstilt på enfaset IT-system uten nøytralpunkt.

Det ble benyttet en egendefinert loggerfunksjon for logging av energi, effekt, strøm og spenning, samt hvor ofte instrumentet skulle logge de variablene som ble definert. Loggetiden ble innstilt på 1 times intervaller, dette for å gi et reelt bilde av hvordan registreringen kommer til å bli ved AMS.



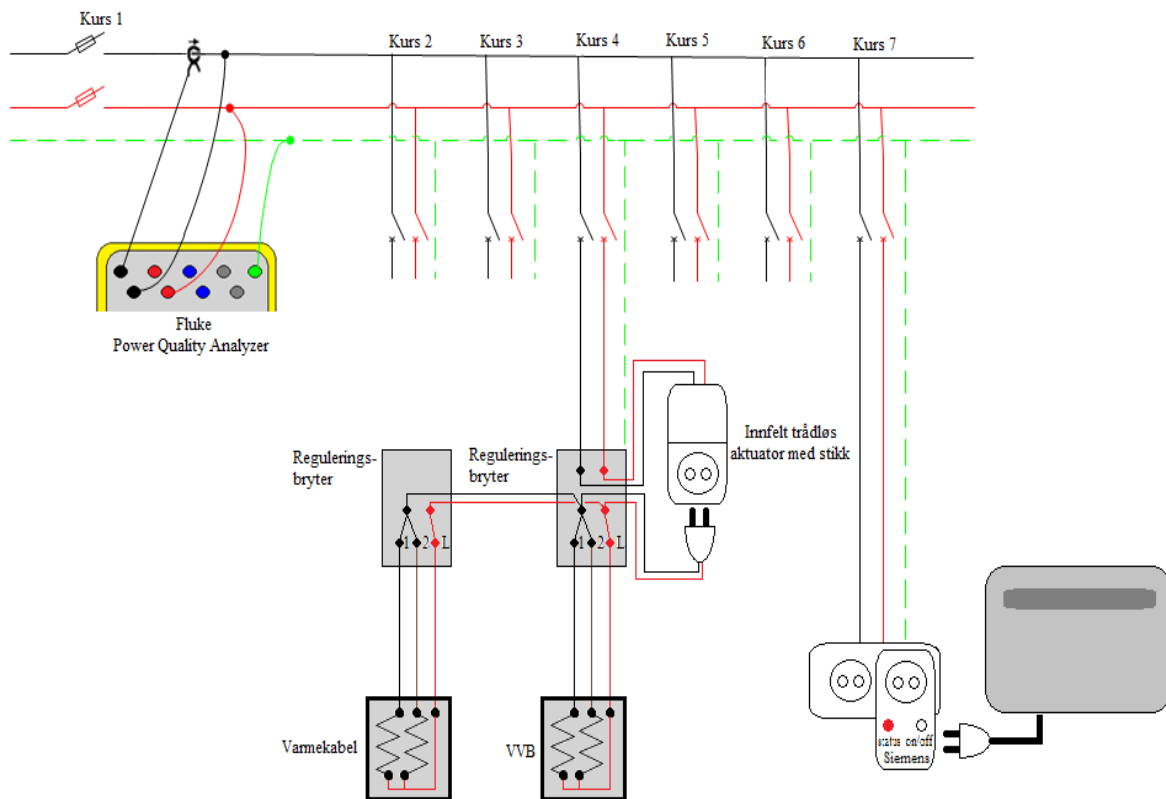
Figur 7-2 Oppsett av forsøk uten energi- og effektstyring



Figur 7-3 Bilde av oppsett av forsøk uten energi- og effektstyring

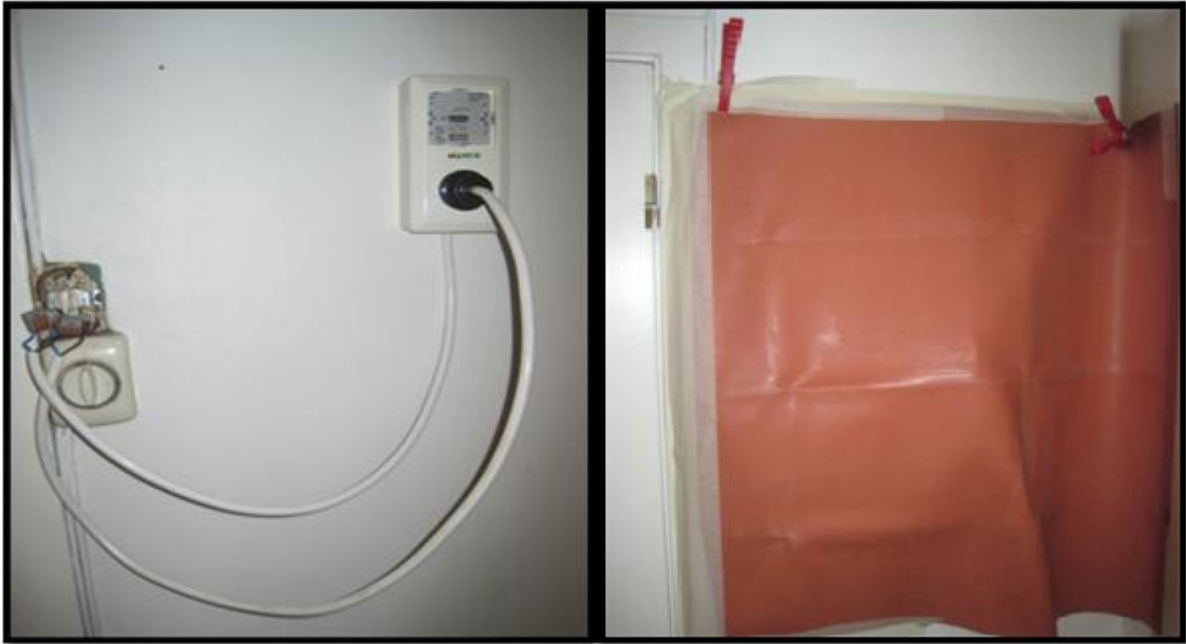
## 7.2.2 Oppsett med energi- og effektstyring

I det andre oppsettet inngikk inn- og utkobling av uprioriterte forbrukslaster. Det ble benyttet samme måleinstrument og loggerfunksjon som under oppsettet uten energi- og effektstyring. I tillegg ble selve styresystemet, samt de trådløse aktuatorene montert foran panelovnen, VVB og varmekabelen i leiligheten, slik som vist i Figur 7-4.



Figur 7-4 Oppsett av forsøk med energi- og effektstyring

Den elektriske installasjonen ble midlertidig endret under måleperioden, for å kunne montere den innfelte trådløse aktuatoren. Endringen i installasjonen medførte at deler av anlegget ble stående uten avskjerming til spenningsførende deler, som kan betraktes som brudd på § 20 i ”forskriften om elektriske lavspenningsanlegg”. Det går frem av forskriften at mennesker og husdyr skal være beskyttet mot farer som kan oppstå ved direkte berøring av spenningsførende deler. På bakgrunn av dette er det etablert sikkerhetstiltak slik som beskrevet i ”forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg” (FSE). Sikkerhetstiltaket medførte avdekking av spenningsførende deler, slik som vist i Figur 7-5. [49]



*Figur 7-5 Avdekking av spenningsførende deler*

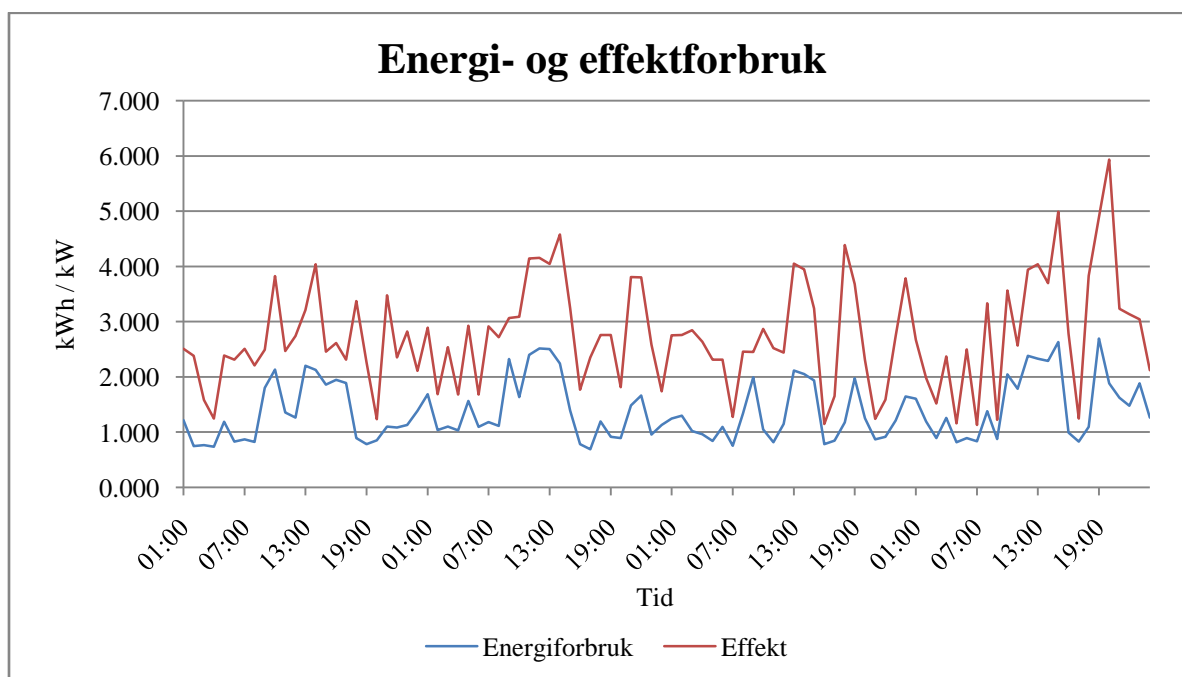
Som det går frem av Figur 7-5 ble det benyttet gummmatter for avdekking av spenningsførende deler. Gummmatten er et godkjent AUS-verktøy (Arbeid Under Spenning) for spenninger opp til 1000 V.

## 8 RESULTATER

Resultatene fra de eksperimentelle forsøkene vil bli presentert i dette kapittelet. Først vil energi- og effektforbruket uten bruk av styring bli presentert, etterfulgt av energi- og effektforbruket med bruk av styring. Til slutt vil energi- og effektforbruket fra de to forsøkene sammenlignes, for å se om energi- og effektstyringene har hatt noe innvirkning på forbruket i husholdningen. En forenklet oversikt over måleresultatene kan leses i sin helhet i Vedlegg F.

### 8.1 Uten energi- og effektstyring

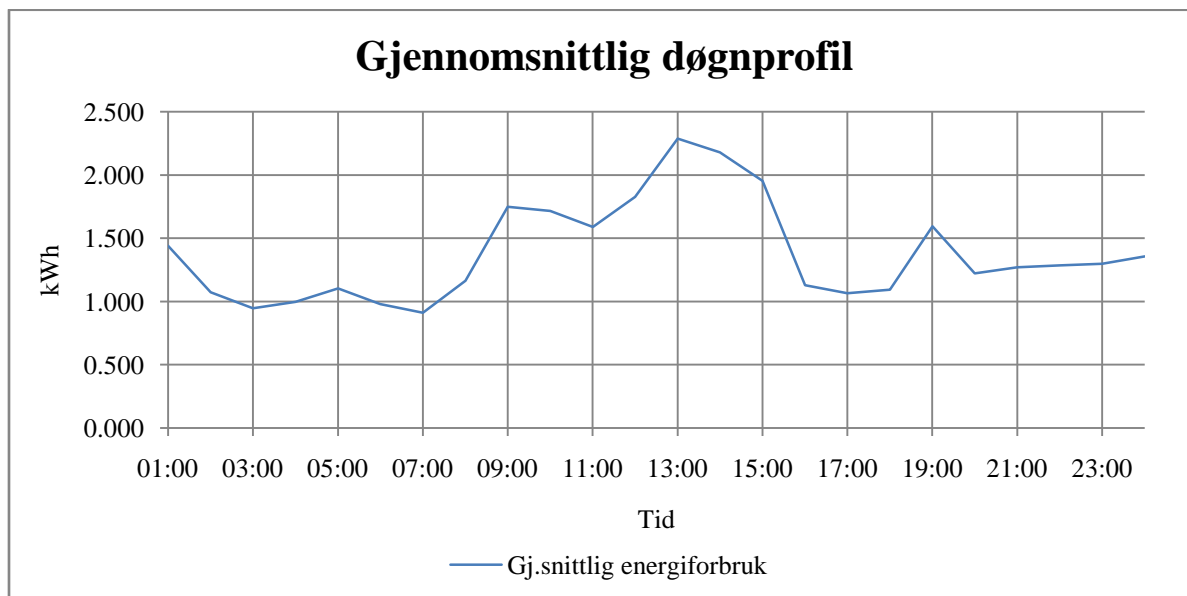
Det totale energiforbruket og maksimalt effektuttak time for time i husholdningen i uke 18, er vist i Figur 8-1. Som det går frem av grafen har ikke husholdningen det store energi- og effektforbruket, og man kan tydelig se variasjonene i forbruket. Det høyeste effektuttaket i måleperioden var på 5,94 kW, og ble registrert torsdag 03.05.12 klokken 19:00. Det totale energiforbruket som ble registrert i løpet av måleperioden var 132,82 kWh, noe som gir et gjennomsnittlig energiforbruk per time på 1,38 kWh/h.



Figur 8-1 Energi- og effektforbruk i uke 18, uten energi- og effektstyring

Man ser ut fra Figur 8-1 at det oppstår flere energi- og effekttopper i løpet av testperioden. Det kan tyde på at bruksmønsteret i testobjektet ikke følger det samme gjennomsnittlige forbruksmønsteret som vist i kapittel 4.2.1. Likevel kan man se en likhet ved at forbruket øker klokken 07:00 og delvis avtar ved klokken 09:00 gjennom hele perioden.

Figur 8-2 viser gjennomsnittlig energiforbruk over døgnet for hele måleserien, og vil benyttes som et referanseforbruk.

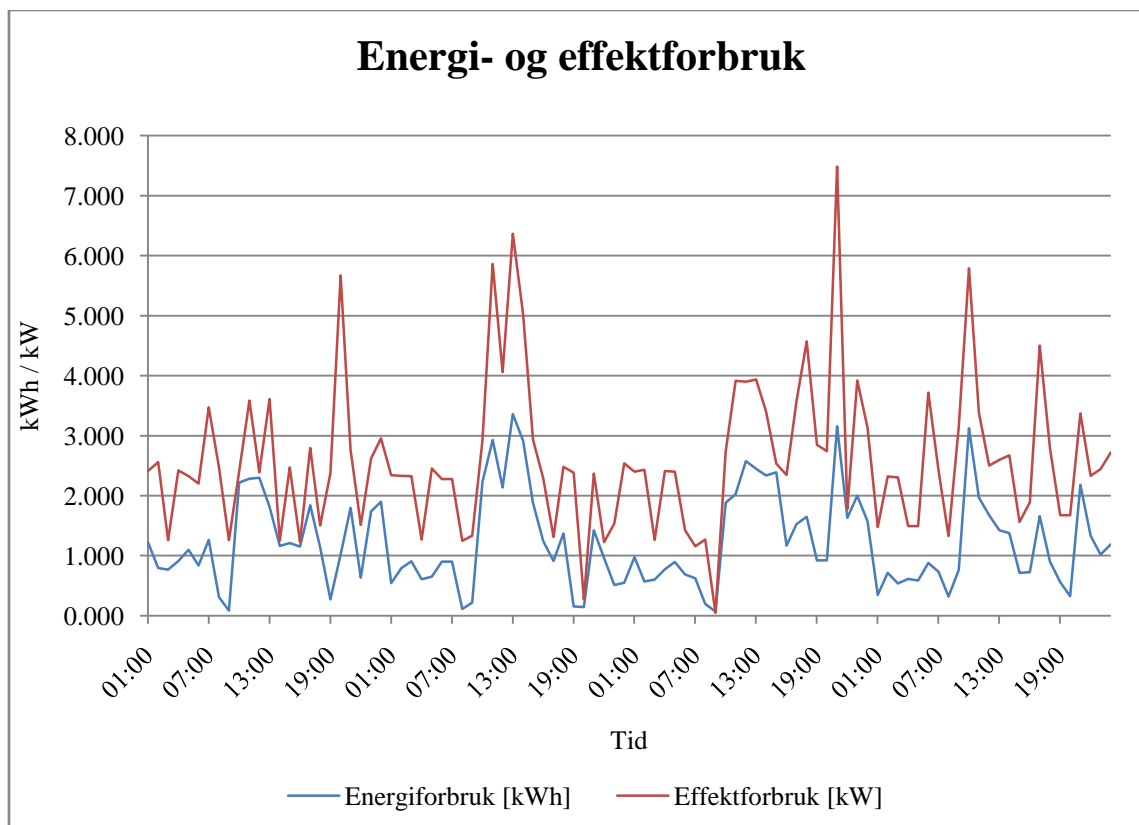


*Figur 8-2 Gjennomsnittlig døgnsprofil uten styring*

Det går frem av Figur 8-2 at energiforbruket har en liten topp klokken 08:00, men at det største energiforbruket forekommer klokken 12:00. Energiforbruket får igjen en liten forbrukstopp klokken 19:00. Sammenligner man denne døgnsprofilen med den som ble presentert i Figur 4-5, kan man se at forbrukstoppene forekommer ved andre klokkeslett i måleserien som er foretatt i sokkelleiligheten. Dette kommer av at bruksmønsteret er i sokkelleiligheten er noe annerledes enn i en gjennomsnittlig enebolig. I tillegg er utvalget til den gjennomsnittlige døgnsprofilen i Figur 4-5, større enn utvalget som har blitt benyttet i dette forsøket.

## 8.2 Med energi- og effektstyring

Det totale energiforbruket og maksimalt effektuttak time for time i husholdningen i uke 20, er vist i Figur 8-3. Det høyeste effektuttaket i måleperioden var på 7,49 kW, og ble registrert onsdag 16.05.12 klokken 21:00. Det totale energiforbruket som ble registrert i løpet av måleperioden var 110,70 kWh, noe som gir et gjennomsnittlig energiforbruk per time på 1,15 kWh/h.

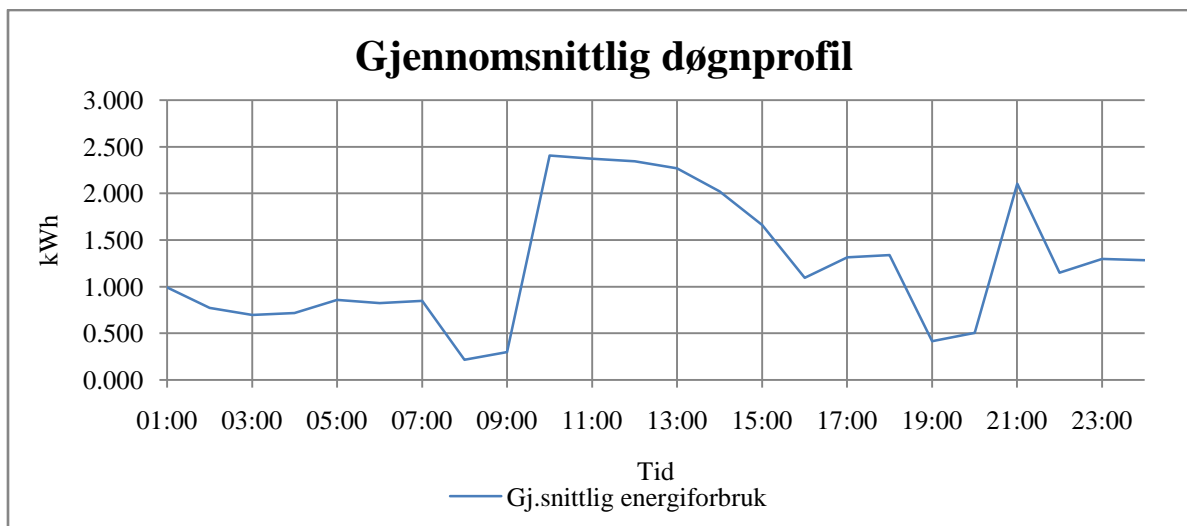


Figur 8-3 Energi- og effektforbruk i uke 20, med energi- og effektstyring

Det går frem av Figur 8-3 at energi- og effektforbruket i husholdningen har en forskyving av forbruket. Energi- og effektforbruket holder seg lavt i de timene de uprioriterte forbrukslastene er utkoblet, mens forbruket øker kraftig i timene 09:00 til 10:00 og 20:00 til 21:00.

Figur 8-4 viser gjennomsnittlig energiforbruk over døgnet for hele måleserien. Som det går frem av figuren oppstår det et redusert energiforbruk når de uprioriterte forbrukslastene er utkoblet, og man får da forskjøvet forbrukstoppene i husholdningen. Sammenligner man denne døgprofilen med den som ble presentert i Figur 4-5, kan man se at forbrukstoppene forekommer to timer senere på grunn av innvirkningen av energi- og effektstyresystemet.

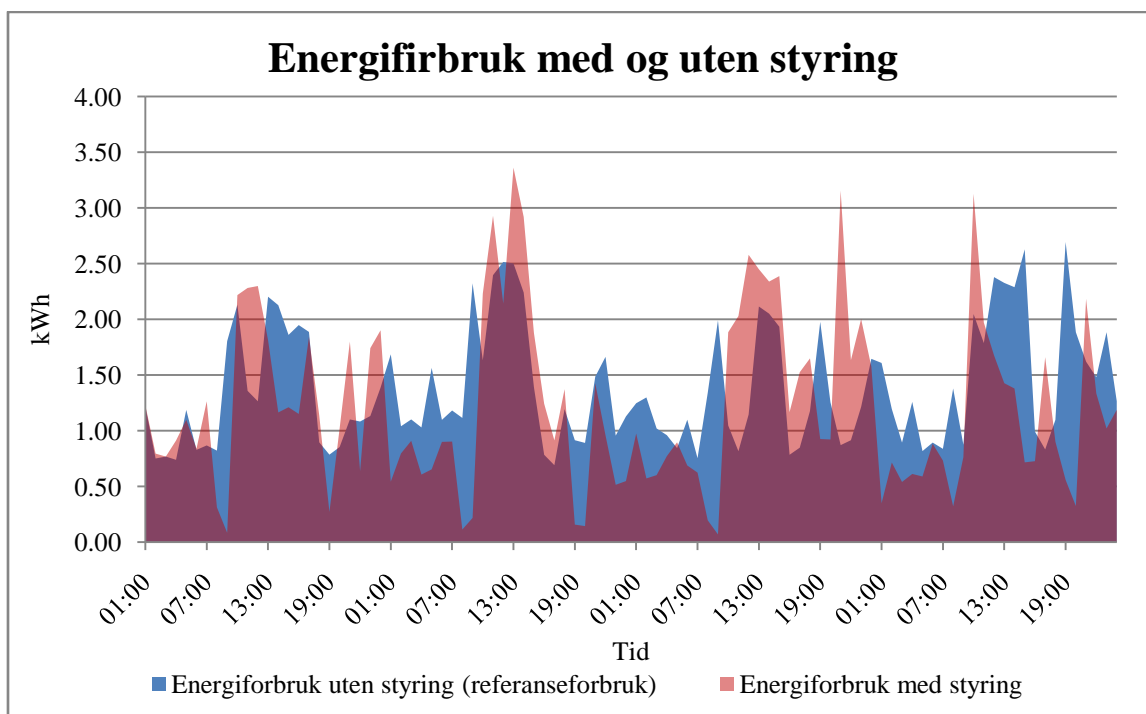




Figur 8-4 Gjennomsnittlig døgnprofil med styring

### 8.3 Sammenligning av energi- og effektforbruk

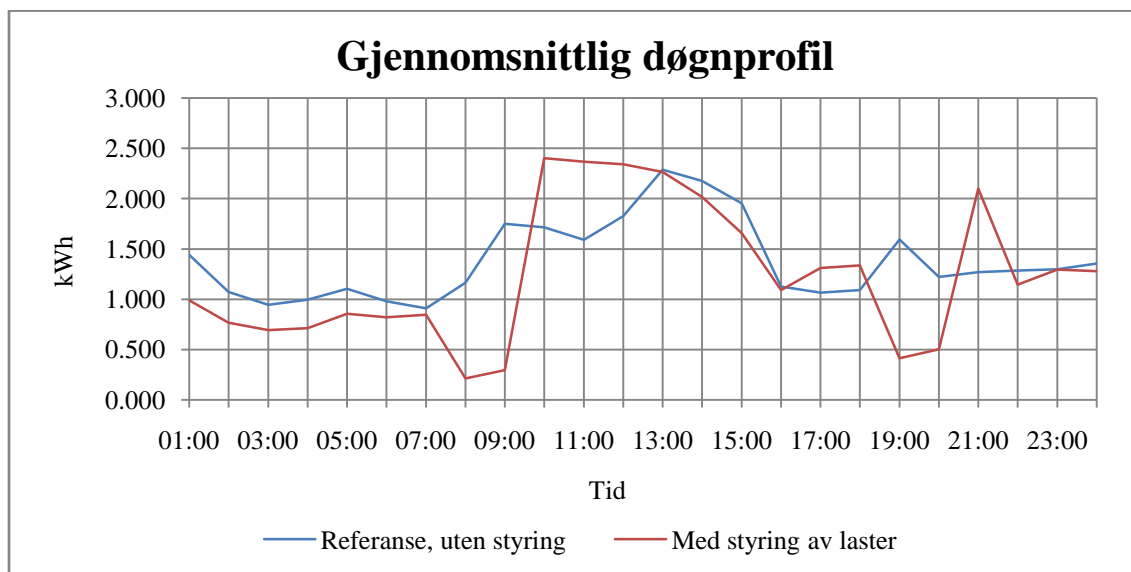
Det totale energiforbruket med og uten energi- og effektstyring er vist i Figur 8-5. Sammenligner man energiforbruket, kan man se at forbruket etter innkobling av forbrukslastene er høyere enn referanseforbruket. Det har derimot vist seg at det utviklede styresystemet gir en reduksjon av det totale energiforbruket på 3,475 kWh, i forhold til referanseforbruket som ble registrert i uke 18.



Figur 8-5 Energiforbruket med og uten styring

Den gjennomsnittlige døgnprofilen, vist i Figur 8-6, viser at forbruksmønsteret har samme karakteristiske form, og at energi- og effektforbruket er redusert i de timene styresystemet

har koblet ut de uprioriterte forbrukslastene i husholdningen. Det går også tydelig frem at energiforbruket er flyttet fra høylasttimer til lavlasttimer, ved at energiforbruket er større enn referanseforbruket i timene etter innkobling.



Figur 8-6 Gjennomsnittlig døgnprofil med og uten styring

Det fremkommer av Figur 8-6 en reduksjon i energiforbruket i time 07 – 08 på 81,7 prosent og i time 08 – 09 på 83,1 prosent. Dette tilsvarer en reduksjon på til sammen 2,4 kWh. Etter innkobling oppstår det en økning i energiforbruket på til sammen 1,9 kWh i timene 09 – 12, på henholdsvis 40,2 prosent, 49,1 prosent og 28,3 prosent. Etter denne økningen, stabiliserer energiforbruket seg, og differansen er minimal frem til neste utkobling finner sted. Her forekommer det en reduksjon i time 18 -19 på 74,1 prosent og i time 19 - 20 på 58,8 prosent, noe som tilsvarer en reduksjon på til sammen 1,9 kWh. I timen etter innkobling (20 - 21) oppstår det en økning i energiforbruket på 64,8 prosent, noe som tilsvarer 0,8 kWh. Dette gir en total gjennomsnittlig energireduksjon på 1,6 kWh per døgn.

Den gjennomsnittlige responsen som følge av styring av forbrukslast er vist i Tabell 8-1. Responsen er det energiforbruket man har flyttet fra høylasttimer til lavlasttimer, og representerer forbruket mellom klokken 07:00 – 09:00 og klokken 18:00 – 20:00.

Tabell 8-1 Anslått gjennomsnittlig respons som følge av styresystemet

	kl. 07:00 – 09:00 [kWh/h]	kl. 18:00 – 20:00 [kWh/h]
Respons som følge av styresystemet	1,202	0,949

Det observeres i tillegg en reduksjon i maksimalt effektuttaket i timene 07 - 09 på totalt 1,8 kW, men i timene etter innkobling (09 - 12) observeres det en økning i effektuttaket på 1,9 kW. I timene 18 - 20 observeres det en reduksjon i effektuttaket på 2,0 kW, men en økning av effektuttaket i time 20 - 21 på 1,0 kW. Dette gir en total gjennomsnittlig reduksjon i det maksimale effektuttaket på 0,9 kW per døgn.

## 9 NYTTEVERDI FOR SLUTTBRUKER

Den største andelen av sluttbrukere i Norge er kun interessert i den økonomiske nytteverdien av å implementere energi- og effektstyring. Det er derfor viktig å legge stor vekt på å fremheve den økonomiske gevinsten man får ved AMS og styring av forbrukslaster.

Det er i dette kapitlet sett på den mulige besparelsen av strupefunksjonen, og det vil bli presentert en økonomisk lønnsomhetsberegning ut i fra måleresultatene presentert i kapittel 8, investeringskostnadene i Vedlegg G og spotprisutviklingen fra NordPool.

### 9.1 Økonomisk lønnsomhet

For å kunne gjennomføre en fullstendig økonomisk lønnsomhetsberegning, vil det være nødvendig med to måleserier som strekker seg over en periode på 12 måneder. Dette for å kunne sammenligne det totale timeregistrerte energiforbruket med og uten styring av forbrukslaster, noe som vil gi en mest mulig korrekt besparelse. I tillegg er beregningsmetodene basert på årlig besparelse og inntjening.

De lønnsomhetsberegningene som er foretatt, er basert på det faktiske energiforbruket i måleperiodene. Det er kun fokusert på kraftanskaffelsesdelen av nettariffen, og mangler dermed følgende kriterier knyttet opp til energi- og effektforbruk:

- Innvirkning av den tidsvariable nettariffen, med tanke på reduserte utgifter i energileddet i den perioden leddet er aktivt.
- Reelt kWh-forbruk per time knyttet opp til reel spotpris

Den gjennomsnittlige døgnprofilen og spotpriser for Trondheim i 2010 ble benyttet for å beregne den økonomiske besparelsen som følge av styresystemet. Det er benyttet timeverdier for hele året, samt gjennomsnittlig energiforbruk per time fra måleresultatene i kapittel 8. Besparelsen ble for øvrig beregnet til kroner 554,-. Dette er ingen reel besparelse, men gir likevel et bilde av det potensialet som ligger i innføringen av strupefunksjonen. Tabell 9-1 viser de økonomiske beregningene for styresystemet med tre forskjellige investeringskostnader.

De ulike styresystemene er basert på den prinsipielle oppbygningen som ble beskrevet i kapittel 6.1. Styresystemet med ekstra måler tar høyde for at AMS-måleren ikke kan kommunisere med styresystemet, og vil i dette tilfellet være det systemet med høyest investeringskostnad. Det styresystemet med lavest investeringskostnad er basert på bruk av de fysiske utgangene på PLS-enheten med tilkoblede trådløse sensorer, og at AMS-måleren har KNX-utgang, slik at den kan kommunisere med styresystemet. Sensorene styrer ulike aktuatorer, slik som vist med de grønne blokkene i Figur 6-1. KNX komponentene består av

2 trådløse aktuatorer (TR201) og 1 trådløs sensor (TR302B) fra Hager, og listepris for disse komponentene er oppgitt i Vedlegg G.

Tabell 9-1 Lønnsomhetsberegninger ved investering i styresystem

	Besparelse	Investering	IT <sub>lik</sub>	Nåverdi
	[NOK/år]	[NOK]	[år]	[NOK]
Styresystem m/ekstra måler	554	19 231	34,7	-12 486
Utprøvd styresystem	554	13 621	24,6	- 6 516
Redusert styresystem u/ekstra måler	554	5 769	10,4	976

Det går frem av Tabell 9-1 at kun det reduserte styresystemet kommer ut med positiv nåverdi, noe som tilsier at investeringen vil være lønnsom. Med en besparelse på kroner 554,- per år, vil denne investeringen være tilbakebetalt etter 10,4 år. Inntjeningstiden er da basert på en lik årlig kontantstrøm, noe som ikke er helt reelt siden besparelsen er avhengig av spotprisutviklingen i NordPool og årlig energiforbruk.

Tar man forutsetningene som ligger til grunn i betraktning, vil dette prosjektet være lønnsomt hvis investeringen ikke overskrider kroner 6744,-. Denne investeringen vil gi en nåverdi større enn null, og vil da betraktes som lønnsom. Styresystemet som er designet i dette prosjektet vil oppnå lønnsomhet hvis besparelsen på tiltaket overskrider kroner 1090,- per år. Basert på lik årlig besparelse, vil dette gi en inntjeningstid på 4,7 år.

## 9.2 Nytteverdi av AMS

Energi- og effektstyring av forbrukslaster vil ha en nytteverdi for de fleste aktørene i kraftmarkedet. En gjennomsnittlig reduksjon på 1,1 kWh/h per husholdning i høylasttimer har en stor samfunnsøkonomisk verdi, ettersom denne reduksjonen kan føre til et redusert behov for ny produksjons- og overføringskapasitet. Hvis man forutsetter at alle private husholdninger<sup>4</sup> i Norge har en reduksjon i forbruket på 1,1 kWh/h, vil dette gi en total forbruksreduksjon på 2,4 GWh/h.

Den nytteverdien som skapes ved innføringen av AMS og strupefunksjonen, vil ha stor betydning for alle aktørene i kraftmarkedet. Den vil gi sluttbrukeren en økonomisk besparelse og til dels en økonomisk gevinst som avhenger av total investeringskostnad, årlig besparelse, kalkulasjonsrente og økonomisk levetid. En økonomisk gevinst vil motivere sluttbrukerens ønske om å investere i en slik funksjon, noe som også kan motivere sluttbrukeren til å ta hele investeringen selv.

<sup>4</sup> I 2011 var det i følge statistisk sentralbyrå 2 201 787 private husholdninger i Norge.[50]

---

## 10 DISKUSJON

### 10.1 Nettariffer

Det er viktig å fremheve nytteverdien ved innføring av strupefunksjonen ovenfor sluttbrukeren. De fleste sluttbrukere er interessert i den mulige økonomiske gevinsten knyttet til en slik funksjon, og det er derfor viktig å stimulere ytterligere til et fleksibelt forbruk ved å innføre en ny nettariff.

Dagens nettariffer tar kun høyde for å dekke netteierens marginale tapskostnader, samt faste kostnader. Utenom kraftanskaffelsesdelen, motiverer ikke nettariffen sluttbruker til å redusere sitt energi- og effektforbruk. For at sluttbruker skal motiveres til å redusere forbruket, må det utarbeides en nettariff som gir mulighet for en økonomisk gevinst i de timene forbrukslastene er utkoblet. Undertegnende mener at en tidsvariabel nettariff med energiledd vil være en mer korrekt tariff, som vil stimulere til et redusert forbruk og utkobling av uprioriterte forbrukslaster.

Den tidsvariable nettariffen med energiledd, som ble presentert i kapittel 3.3.1, vil sørge for at sluttbrukere uten energi- og effektstyring betaler en høyere pris i den perioden energileddet er innkoblet, enn sluttbrukere som har investert i styrefunksjonen. I tillegg vil kraftanskaffelsesdelen være knyttet opp mot spotprisutviklingen i Nord Pool, noe som sørger for gi en ytterligere økonomisk besparelse for sluttbrukere med energi- og effektstyring.

### 10.2 Energi- og effektstyring

Strupefunksjonen innebærer å bryte eller begrense effektuttaket i hvert enkelt målepunkt i perioder med knapphet i sentral-, regional- og distribusjonsnettet. Gjennom arbeidet med denne oppgaven har det blitt oppdaget at strupefunksjonen defineres forskjellig av aktørene i kraftmarkedet, og at det er uklart hvordan denne funksjonen skal implementeres. Aktørene mener strupefunksjonen kan benyttes til både frakobling av hele anlegget, og utkobling og funksjonsbryting av deler av anlegget. Skal strupefunksjonen benyttes til frakobling av anlegget, vil de særnorske kravene om allpolig brudd som er definert i NEK 400, trå i kraft. Denne funksjonen er beregnet for å frakoble målepunktet på grunn av utestående strømregninger og lignende, og vil bli utført av en intern kontaktor i AMS-måleren.

For å kunne begrense effektuttaket i det enkelte målepunktet, må man benytte seg av funksjonsbryting av forbrukslaster. Dette betyr at man bryter enkeltlaster, noe som medfører i at kravet om allpolig brudd frafaller. For å redusere forbruket må det benyttes forbrukslaster som er best mulig egnet til dette formålet. Denne rapporten har sett på hvilke

---

forbrukslaster som gir mest effektreduksjon, og som kan unnværes i perioder uten at sluttbrukerens komfortkvalitet reduseres.

Forbrukslaster som innehar en termisk treghet har vist seg å være godt egnet til forutsatt bruk, og blir derfor betegnet som en uprioritert belastning. Dette er forbrukslaster som VVB, varmekabel, elektriske varmeovner og frysebokser. Det er vanskelig å definere en optimal utkoblingstid for de ulike forbrukslastene. Utkoblingstiden som ble benyttet i dette prosjektet, ble satt ut fra forbruksmønsteret til en gjennomsnittlig husholdning. Denne utkoblingstiden ble benyttet i det eksperimentelle forsøket, og det ble ikke registrert noe endring i temperaturen på baderomsgulvet eller varmtvannet. Dette viser at en utkoblingstid på 2 timer ikke vil gi en redusert komfortkvalitet hos sluttbruker.

Når det gjelder andre elektriske oppvarmingskilder, i dette tilfelle en panelovn, blir det vanskelig å si om en utkoblingstid på 2 timer er tilfredsstillende. Dette på grunn av at måleperioden ble foretatt i en periode med forholdsvis høy midlere utetemperatur på 8,2 °C [51]. Det ble registrert en nedgang på innetemperaturen på 1 °C (19 °C – 18 °C), noe som ikke reduserte komfortkvaliteten til sluttbrukerne nevneverdig. Dersom måleperioden hadde blitt foretatt i en periode med større behov for oppvarming, ville mest sannsynlig en utkoblingstid på 2 timer vært i overkant. Dette er selvfølgelig bare antagelser, og vil være avhengig av konstruksjonen og dens U-verdi.

Temperaturutviklingsforsøket i en 400 liters frysebokser, viste at forbrukslasten var meget godt egnet for energi- og effektstyring. Forsøket ga en temperaturøkning i fryseboksen på 5,3 °C over en periode på 2 timer. Dette tilsvarer riktignok en temperaturøkning på 20 prosent, men anses for å ikke ha noe betydning for innholdet i fryseboksen. Dette fordi temperaturen etter 2 timer holdt -20,2 °C og at stigningstallet på temperaturutviklingen var synkende. Resultatene fra forsøket er likevel ikke representativt på bakgrunn av utvalgets størrelse, men anses likevel som et godt nok resultat i denne sammenhengen.

### 10.2.1 Styresystemet

Det ble undersøkt og kartlagt aktuelle komponenter som kan benyttes til struping av enkeltlaster. Det viste seg at det finnes ulike type komponenter innen ulike styringsteknologier, som kan benyttes til effektstruping av forbrukslaster. Det ble riktig nok ikke funnet noen komponenter som kan utføre samtlige utkoblingskriterier som beskrevet i kapittel 4.2. Det ble derfor valgt å utforme et styresystem for struping av enkeltlaster, basert på de to ulike styringsteknologiene, PLS og KNX. Årsaken til dette er at trådløs KNX-teknologi er bedre egnet til å bryte ulike forbrukslaster, mens en PLS er bedre egnet til å utføre selve styringen av de utkoblingskriteriene som er gitt. KNX-systemet ble i tillegg valgt ettersom det stilles krav til at det skal benyttes et standardisert grensesnitt mellom eksternt utstyr basert på åpne standarder ([3] § 4-2 punkt b).

---

Med bruk av KNX vil man enkelt kunne overføre kWh-priser, kWh-forbruk, effektforbruk o.l. til eksternt utstyr, samt styre ulike forbrukslaster uten at det krever for store inngrep i den eksisterende installasjonen. Dette skyldes at KNX har et bredt spekter av overføringsmedier som kan benyttes, herav også trådløs overføring. Det er i tillegg flere leverandører av KNX-utstyr, slik at prisene ikke blir presset opp etter behovet.

Det var i tillegg viktig at styresystemet ikke velges ut i fra dagens krav og spesifikasjoner, slik at det er mulig å benytte systemet til nye tjenester i fremtiden. Ved bruk av KNX-system kan man til en hver tid koble til nye komponenter eller skifte dem ut etter behov, uten større utfordringer. Det eneste man behøver er å programmere om komponentene, noe som ikke er særlig krevende. Dette er noe undertegnende betrakter som en stor fordel ved å benytte et mer avansert styresystem, kontra bruk av kontaktorstyring som undertegnende betrakter som en utdatert styreteknologi for boliginstallasjoner.

Når det kommer til selve oppbygningen av systemet, viste det seg at enkelte komponenter var vanskeligere å få integrert i systemet enn andre. Dette var mest på grunn av at brukerveiledningen, til spesielt den innfelte aktuatoren, var av den kompliserte sorten, og for å konfigurere denne var det nødvendig å lese mellom linjene. Til tross for enkelte komplikasjoner, har det vist seg at begge teknologiene er brukervennlige og forholdsvis enkle i bruk. Det å benytte trådløse aktuatorer gjorde installasjonen forholdsvis enkel, og førte til minimale inngrep i den eksisterende elektriske installasjonen.

Den største ulempen med styresystemet er at de uprioriterte forbrukslastene forble avslått ved strømbrudd. Dette fører til at det er nødvendig å foreta en manuell innkobling av forbrukslastene med reset-bryteren. Dette reduserer brukervennligheten til systemet drastisk, og vil føre til en redusert komfortkvalitet for sluttbrukeren.

Styresystemet fører til få endringer i den eksisterende elektriske installasjonen, selv om forbrukskursene i leiligheten er inndelt etter blandede kurser. Hvis strupefunksjonen skal innføres sammen med AMS og 2VK, bør nye elektriske installasjoner ha en funksjonell oppdeling av forbrukskursene. Dette sørger for at lys, varme og stikkontakter har hver sin kurs, noe som vil forenkle både styresystemet og installasjonen av komponentene.

Styresystemet tar ikke høyde for om uvedkommende får tilgang til nettselskapenes fjernstyring av strupefunksjonen, noe som er en svakhet i forhold til personsikkerheten. Uansett antar undertegnende at det er nettselskapene sitt ansvar å forhindre at dette skjer. Strupefunksjonen vil kun føre til at deler av anlegget blir utkoblet, men man bør uansett ta høyde for at man ikke kan koble ut all elektrisk oppvarming i en enebolig. Dette vil forhindre at vannrør fryser hvis det skulle oppstå et strømbrudd eller om uvedkommende ønsker å utføre skader på andres eiendom i kalde perioder.

### 10.3 Måleresultater

Den gjennomsnittlige døgnprofilen uten styring avviker noe fra den gjennomsnittlige døgnprofilen som ble funnet i undertegnendes forprosjekt ”*Strømforbruk i norske husholdninger*”. Årsaken til dette er at bruksmønsteret i husholdningen hvor styresystemet ble testet, er forskjellig fra det gjennomsnittlige bruksmønsteret i norske husholdninger. At bruksmønsteret er forskjellig kan forklares ved at den ene personen i husholdningen jobber turnus, mens den andre er student. Dette vil si at arbeidstiden varierer i løpet av uken, og at man da ikke har en gjennomsnittlig døgnrytme.

Den gjennomsnittlige døgnprofilen med styring viser et høyere forbruk etter innkobling i forhold til referanseforbruket. Dette viser også det registrerte effektuttaket, og det går frem av resultatene at effekttoppen er 1,55 kW høyere enn ved uten styring. Dette er uheldig og kan føre til en økning av sammenlagret effektforbruk i sentral-, regional- og distribusjonsnettet. Som en følge av dette kan det være hensiktsmessig å benytte trinnvis innkobling, slik som vist i Vedlegg C. Dette sørger for at energi- og effektforbruket ikke får en kraftig peak rett etter innkobling, og kan dermed forhindre mulige flaskehalsen som kan oppstå i en slik situasjon.

Måleresultatene viser tydelig at styresystemet fungerer som tilsiktet og gir en reduksjon i energiforbruket og det maksimale effektuttaket. En gjennomsnittlig reduksjon på 1,6 kWh/døgn og en gjennomsnittlig respons på 1,1 kWh/h, er til stor nytteverdi for andre aktører i kraftmarkedet, som for eksempel netteier, kraftprodusenter og Statnett. I tillegg antar undertegnende at den gjennomsnittlige reduksjonen hadde blitt noe høyere hvis måleperioden hadde blitt foretatt i en periode med en lavere midlere utetemperatur.

For at energi- og effektmålingene skal kunne representere et representativt utvalg må antall måleobjekter kunne representere populasjonen man prøver å si noe om. Det vil si at utvalget må være et tverrsnitt av befolkningen, og det må ha en viss geografisk spredning. Utvalget som er benyttet for å analysere innvirkningen av styresystemet faller ikke innenfor kriteriene for et representativt utvalg. Til tross for dette, sier måleresultatene noe om nytteverdien ovenfor sluttbrukeren. Styresystemet viser at det er mulig å oppnå en økonomisk besparelse, noe som er av stor nytteverdi for sluttbrukeren. De økonomiske beregningene viser imidlertid at investeringen ikke må overskride kroner 6744,-, hvis man ønsker en økonomisk gevinst ved forutsetningen om en årlig besparelse på kroner 554,-.

Besparselsen i dette tilfellet er ikke reel, og viser bare potensialet til et slikt styresystem. Skal besparelsen bli reel må man sammenligne energiforbruket over en lengre periode på for eksempel ett år, ettersom energiforbruket er høyere i vinterhalvåret enn sommerhalvåret. Det vil da si at man får et høyere energiforbruk uten styring, i forhold til det energiforbruket man ville fått med styring av forbrukslaster. Hvis man i tillegg hadde innført en ny nettariff, ville besparelsen mest sannsynlig vært betraktelig høyere.



Strupefunksjonen gir et redusert energi- og effektforbruk i høylasttimer og perioder med knapphet i nettet. Det burde derfor vært mulighet for å få tildelt støtte fra Enova for et slikt tiltak, på lik linje som med andre enøk-tiltak. Dette vil i tillegg motivere sluttbrukeren til å investere i et slikt tiltak, og føre til at flere velger å investere i en slik løsning. Dette vil øke nytteverdien for andre aktører i kraftbransjen betraktelig, noe som vil gi en stor samfunnsøkonomisk verdi.

### 10.3.1 Feilkilder

En usikkerhet i de eksperimentelle resultatene er det registrerte energiforbruket. Måleinstrumentet som ble benyttet, registrerte kun energiforbruket opp til 43,6 kWh, noe som førte til at målseriene ikke kunne benyttes. Det gjennomsnittlige aktive effektforbruket per time ble benyttet for å beskrive energiforbruket i husholdningen, noe som ga et gjennomsnittlig avvik på 3,6 prosent i forhold til det registrerte energiforbruket. Årsaken til avviket skyldes en faseforskyvning ( $\cos(\varphi)$ ) mellom strøm (A) og spenning (V) grunnet reaktive og kapasitive belastninger i husholdningen. Denne målefeilen fører til at forbruket som ble registrert er noe mindre enn det reelle energiforbruket i husholdningen, men gir ikke nevneverdig endringer i resultatene.

Når det kommer til de forbrukslastene som ble benyttet i forsøket, ble det oppdaget at den elektroniske termostaten på panelovnen endret ønsket temperatur etter utkobling. Termostaten ble innstilt på 19 °C før måleperioden startet, for å få likt energiforbruk fra panelovnen. Etter utkobling av forbrukslasten ble ønsket verdi automatisk endret til 22 °C, noe som fører til et høyere energiforbruk. Dette påvirker beregnet besparelsen, og fører til en redusert lønnsomhet av styresystemet. Denne type termostat (Adax elektronisk termostat) er derfor ikke egnet ved styring av denne type forbrukslast. Om dette problemet er generelt for alle typer elektroniske termostater er uvisst.

## 10.4 Videre arbeid

Som videre arbeid vil det være interessant å undersøke om en utkoblingstid på 2 timer er representativt for alle uprioriterte forbrukslast. Dette med tanke på at energiforbruket og varmebehovet i en husholdning er avhengig av den utvendige temperaturen og bygningens konstruksjon. Dette kan gjøres ved å koble ut de uprioriterte forbrukslastene i kalde perioder, for å se om komfortkvaliteten og innetemperaturen faller til en uakseptabel grense.

Det hadde også vært interessant å undersøke om styresystemet fysisk kan implementeres i en eksisterende husholdning, for å undersøke hvor mye plass det krever i sluttbrukers fordeling. I tillegg hadde det vært interessant å videreutvikle bruken av de fysiske utgangene på PLS-enheten, slik at man kan minimere investeringskostnadene og samtidig undersøke hvor enkelt de trådløse aktuatorene kan implementeres bak stikkontakter og lignende. Dette

kan utføres samtidig som man utvider måleperioden, for å undersøke om en reel besparelse gir bedre lønnsomhet for sluttbrukeren. Dette er med på å gi sluttbrukeren bedre trygghet og bedre motivasjon til å investere i et slikt tiltak.

## 11 KONKLUSJON

Denne oppgaven har tatt for seg AMS og innføringen av en tiltenkt strupefunksjon som kan benyttes til å bryte ulike forbrukslaster hos sluttbrukeren. Formålet har vært å kartlegge og teste mulige styresystemer på markedet, som kan benyttes for å oppfylle strupefunksjonens funksjonalitet. Det har i tillegg blitt sett på hvilke nettariffer som kan benyttes til å øke motivasjonen og fremheve nytteverdien for sluttbrukeren ved innføringen av AMS. Følgende hovedkonklusjoner kan trekkes ut fra det arbeidet som har blitt utført:

- Dagens nettariffer er ikke tilpasset bruken av strupefunksjonen, og det er nødvendig å innføre en nettariff som motiverer sluttbruker til å investere i en slik strupefunksjon. Dette kan oppnås ved å innføre en tidsvariabel nettariff med energiledd.
- Det har vist seg at VVB, varmekabler, frysebokser og annen elektrisk oppvarming er meget godt egnet til å redusere sluttbrukerens energi- og effektforbruk.
- Kartleggingen av ulike kontroll- og styresystemer har vist at det finnes komponenter fra ulike styringsteknologier som kan benyttes til struping av effektforbruket, men ingen som kan utføre samtlige av de ønskede utkoblingskriteriene. Det ble derfor utviklet et styresystem basert på teknologi fra PLS og KNX.
- Ved å benytte en åpen standard som KNX, tilfredsstiller man forskriftens krav om at det skal benyttes et standardisert grensesnitt som legger til rette for kommunikasjon med eksternt utstyr basert på en åpen standard.
- Det viser seg at det utviklede styresystemet ikke reduserte komfortkvaliteten til sluttbrukeren under måleperioden, det vil si at temperaturreduksjonen grunnet frakobling ikke var merkbar for sluttbrukeren.
- Måleresultatene og lønnsomhetsberegningene viser at et styresystem gir et redusert energiforbruk og effektuttak i høylasttimer, og at det vil gi sluttbrukeren en økonomisk besparelse. Resultatene indikerer en reduksjon i energiforbruket på 1,6 kWh/døgn og en gjennomsnittlig respons på 1,1 kWh/h. De økonomiske lønnsomhetsberegningene indikerer en total årlig besparelse på kroner 554,-. Resultatene inneholder noe usikkerhet, spesielt den årlige økonomiske besparelsen, grunnet faktorer som for eksempel måleperiodens lengde og nevnte feilkilder.

---

## REFERANSER

- [1] Norges vassdrags- og energidirektorat, ”Avansert måle- og styringssystemer – oppsummering av høringsuttalelser og endelig forskriftekst”, Dokument 7 2011, NVE hustrykkeri, Oslo, 2011
- [2] Norges vassdrags- og energidirektorat, ”om NVE”, Lokalisert 08.02.12 på internett: <http://www.nve.no/no/Om-NVE/>
- [3] Lovdata, ”Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester”, Revidert utgave 16.01.2012, Lokalisert 08.02.2012 på internett: <http://www.lovdata.no/for/sf/oe/oe-19990311-0301.html>
- [4] Jonassen, Torfinn, ”Åpning av kraftmarkedet i Norge 1991 – 1999”, Rapport 25 1998, NVE, 1998.
- [5] Kolbeinstveit, Olav og Tjeldflåt, Asle. ”Automatisk måleravlesning og toveiskommunikasjon - Styringsinstrument eller avlesningsautomat?” NVE rapport 6/2006, NVE hustrykkeri, Oslo, 2006
- [6] ECON, ”Rapport 2007-047 - Nye måleteknologier” Lokalisert 08.02.12 på internett: [http://www.nve.no/PageFiles/808/ECON\\_Ny\\_maalerteknologier.pdf?epslanguage=no](http://www.nve.no/PageFiles/808/ECON_Ny_maalerteknologier.pdf?epslanguage=no)
- [7] Fines, Steinar, ”AMS – Hva nå”, Lokalisert 08.02.12 på internett: <http://www.standard.no/Global/PDF/Elektro-NEK/Lavspenning/Elsikkerhetskonferansen%202011/SEK-1-5-Fines-NEKs%20elsikkerhetskonferansen%202011.pdf>
- [8] Grav, Jostein Ween (Jostein.Ween.Grav@dsb.no), (29.05.12), ”SV: Uttalelse om AMS i Elsikkerhet nr 80”, Epost til Kure, Hans Magnus ([hansmak@stud.ntnu.no](mailto:hansmak@stud.ntnu.no))
- [9] Norsk elektroteknisk komité, ”Norsk elektroteknisk norm; Elektriske lavspenningsinstallasjoner”, 4.utgave, 2010, Oslo
- [10] Martinsen, G., Aarseth, H. G., ”Nettselskapenes nøytralitetsplikt”, Lokalisert 08.02.12 på internett: <http://www.energinorge.no/getfile.php/FILER/Medlemstjenester/Juridisk%20r%E5dgivning/Nettselskapenes%20nøytralitetsplikt%20Thommesen%2031072007.pdf>
- [11] Grand, O.S, Solem, G., Sælen, H., ”Lavprioritert forbruk som ressurs for netteier og kraftmarkedet”, Teknisk rapport TR A6425, Sintef Energi, Trondheim, 2007.
- [12] Enova, ”Energi gradtall og temperaturkorrigering”, Lokalisert 08.02.12 på internett: <http://naring.enova.no/popups/bba/BBAGradtall.aspx#helpTemperaturkorrigering>

- 
- [13] NTNU-SINTEF, *"Enøk i bygninger – effektiv energibruk"*, 3.utgave, Gyldendal norsk forlag AS, 2007
- [14] Hoff, K.G., *"Bedriftens økonomi"*, 6.utgave, Universitetsforlaget, Oslo, 2005
- [15] Statistisk sentralbyrå, *"Konsumprisindeksen per 15. februar 2012"*, Lokalisert 30.03.12 på internett: <http://www.ssb.no/kpi/>
- [16] Statistisk sentralbyrå, *"Rentestatistikk for banker og andre finansforetak, 4. kvartal 2011"*, Lokalisert 30.03.12 på internett: <http://www.ssb.no/orbofrent/>
- [17] Lovdata, *"Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsrammer for nettvirksomheten og tariffen"*, utgave FOR 1999-03-11 nr 302, Lokalisert 08.02.2012 på internett: <http://www.lovdata.no/for/sf/oe/oe-19990311-0302.html>
- [18] Kraft Kartet, *"Velg leverandør og avtale"*, Lokalisert 10.04.12 på internett: <http://www.kraftkartet.no/default.asp?gruppe=3308>
- [19] ELIT, *"Kjøkkenwattmeter"*, Lokalisert 20.03.12 på internett: <http://www.elit.no/kjokkenwattmetere.html>
- [20] Olje og energidepartementet, *"Energi- og kraftbalansen mot 2020"*, Lokalisert 08.03.12 på internett: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11/29/6.html?id=349318>
- [21] Grand, O.S., Sælen, H., *"Intensiver til belastningsreduksjon i knapphetsperioder; Nettariffer, kraftavtaler og kriterier for styring via TVK"*, Teknisk rapport TR A5954, Sintef Energi, Trondheim, 2004.
- [22] Kure,H.M, *"Strømforbruk i norske husholdninger"*, NTNU, 2011
- [23] OSO hotwater, *"Boligbredere"*, Lokalisert 17.02.12 på internett: <http://dovremoduler.no/Filer/dokumentasjon/materialvalg/Boligberedere-Brosjyre.pdf>
- [24] Sintef Byggforsk, *"Byggforskserien; 553.121 Varmtvannsforsyning"*, utgave 2, 2004
- [25] Norsk elektroteknisk komité, *"NEK 400 Bolig: 2011- Teknisk spesifikasjon"*, utgave 1, Oslo, 2011
- [26] Hansen, E.H., *"Elektroinstallasjoner"*, utgave 2010, Classica forlag, 2010
- [27] Pedersen, M, *"PLC – Programmable logic controllers"*, Høgskolen i Telemark, 2009
- [28] Hansen, E.H, *"ELK32 intelligente bygningsinstallasjoner; Det intelligente huset"*, Forelesningsnotat 07.09.11, NTNU, Trondheim
- [29] KNX, *"Håndbok for hjem- og eiendomsautomasjon"*, 5.utgave, 2006

- 
- [30] Schytten, Ivan ([Ivan.Schytte@skagerakerenergi.no](mailto:Ivan.Schytte@skagerakerenergi.no)) (19.03.12), " *VS: Spørsmål til masteroppgave*", E-post til Kure, Hans Magnus ([hmkure@live.no](mailto:hmkure@live.no))
- [31] KNX, " *Our objectives*", Lokaliser 26.03.12 på internett: <http://www.knx.org/knx-association/objectives/>
- [32] Hansen, E.H, " *Laboppgave ELIN3 i TET4120 El.installasjoner*", NTNU, 2012
- [33] ABB, " *Velkommen til ABB*", Lokalisert 13.03.12 på internett: <http://www.abb.no/cawp/noabb068/200fb1780903c5b2c12574f70030de3e.aspx?v=91D6&leftdb=GLOBAL/NOABB/noabb068.nsf&e=no&leftmi=f6167292adcf78dec1256780003acad5>
- [34] ABB, " *The new Energy Actuator SE/S 3.16.1*", Lokalisert 17.02.12 på internet: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/d72605a8aababda7c12577eb004609e5.aspx>
- [35] Pettersen, Håkon ([hapn@cowi.no](mailto:hapn@cowi.no)) (06.02.12), " *RE: COWI homepage mail: Masteroppgave NTNU*", E-post til Kure, Hans Magnus ([hmkure@live.no](mailto:hmkure@live.no))
- [36] Siemens, " *Om Siemens*", Lokalisert 13.03.12 på internett: <https://www.nwe.siemens.com/norway/internet/no/omsiemens/Pages/siemens.aspx>
- [37] Hansen, Tommy Raanes ([tommy.hansen@siemens.com](mailto:tommy.hansen@siemens.com)) (07.02.12), " *RE: Masteroppgave NTNU*", E-post til Kure, Hans Magnus ([hmkure@live.no](mailto:hmkure@live.no))
- [38] Hager Group, " *Business profile*", Lokalisert 28.03.12 på internett: <http://www.hagergroup.net/company/1024-4.htm>
- [39] Malvik, Snorre ([snorre.malvik@hager.no](mailto:snorre.malvik@hager.no)) (21.03.12), " *RE: Masteroppgave NTNU*", E-post til Kure, Hans Magnus ([hmkure@live.no](mailto:hmkure@live.no))
- [40] Eaton, " *Brukerveiledning EasyMax-M6*", Versjon 2.2, Eaton, 2007
- [41] JUNG, " *100 Jahre JUNG*", Lokalisert 23.04.12 på internett: <http://www.jung.de/607/100-jahre-jung/erfindergeist-hat-zukunft/>
- [42] JUNG, " *Online catalogue*", Lokalisert 23.04.12 på internett: <http://www.jung-catalogue.com/>
- [43] Gira, " *Company*", Lokalisert 23.04.12 på internett: <http://www.gira.com/en/unternehmen.html>
- [44] Gira, " *Products*", Lokalisert 23.04.12 på internett: <http://www.gira.com/en/produkte/reg-plus-c-last-aktoren.html>
- [45] Graabak, I., Feilberg, N., " *Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT; Analyseresultater*", Teknisk rapport TR A5980, SINTEF Energi, Trondheim, 2004
-

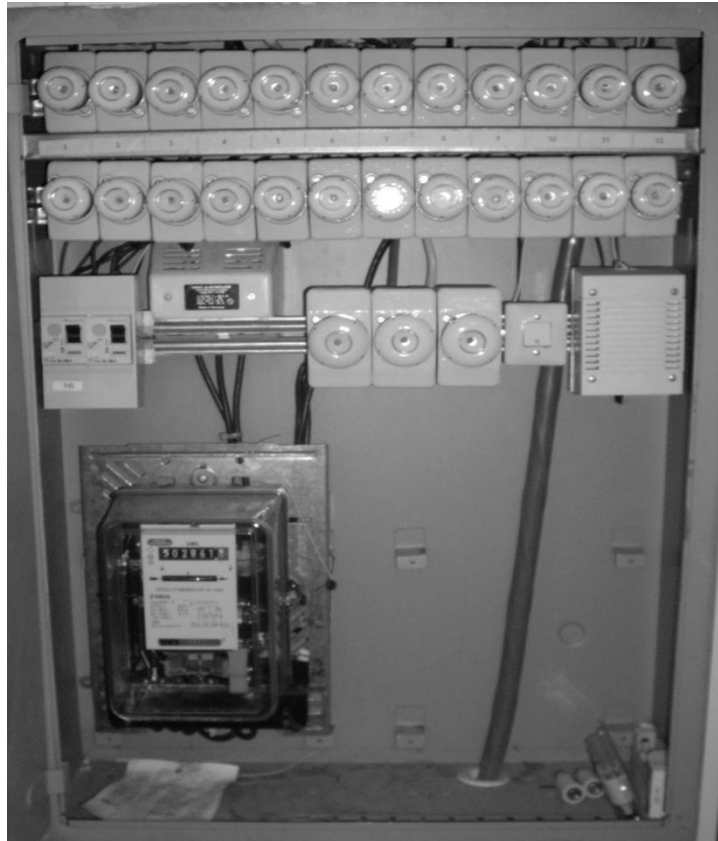
- 
- [46] Grand, O.S., Sælen, H., Solem, G., "*Økt priselastisitet hos husholdningskunder. Kunderespons og endring i forbruksmønster og pilottester*", Teknisk rapport TR A6561, Sintef Energi, Trondheim, 2007.
- [47] Siemens, "*Manual Edition 06/2003*", Lokalisert 31.05.12 på internett:  
[https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/TM/TMxNTQ1AAAA\\_16527461\\_HB/Logo\\_e.pdf](https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/TM/TMxNTQ1AAAA_16527461_HB/Logo_e.pdf)
- [48] Fluke, "*Getting Started; Fluke 433/434 Three Phase Power Quality Analyzer*", Fluke Corporation, 2004.
- [49] Produkt- og elektrisitetstilsynet, "*Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg med veiledning*", Fastsatt 06.11.98.
- [50] Statistisk sentralbyrå, "*Privathusholdninger og personer per privathusholdning, etter fylke. 1960, 1970, 1980, 1990, 2001 og 2011*", Lokalisert 28.05.12 på internett:  
<http://www.ssb.no/familie/tab-2011-04-07-02.html>
- [51] Meteorologisk institutt, "*eklima*", Lokalisert 23.05.12 på internett:  
[http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39049&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL)

## **VEDLEGG**

- Vedlegg A Fordeling fra 1979
- Vedlegg B Oppsett av styringssystemet
- Vedlegg C LOGO! Program med forsinket innkobling
- Vedlegg D LOGO! Funksjonsliste
- Vedlegg E Utstysrliste for labforsøk
- Vedlegg F Måleresultater
- Vedlegg G Listepriser



# VEDLEGG A: FORDELING FRA 1979



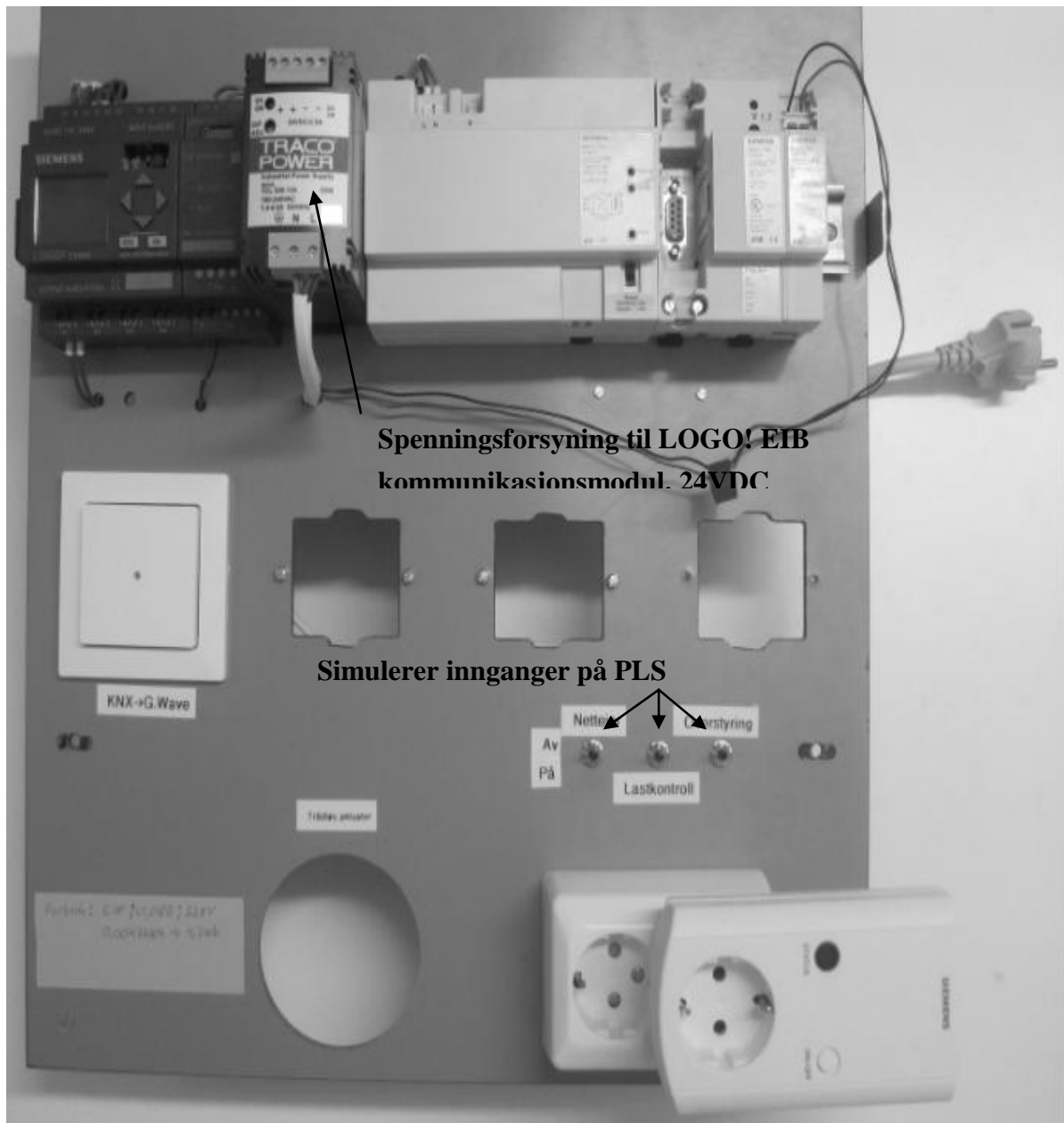
INSTALLATOR: <i>NEBB Ag Sørnesberg</i>		ANLEGG NR.:	ADVARSEL!	
TLF.: <i>031 55035</i>		TILKOBLET FASE:	Abonnenten er efter utførelsen ansvarlig for bruk av ikke godkjente eller forfalskede sikringer. Elektrikerverket har plikt til å omsette forholdet til påtalemyndigheten.	
KURS NR.	KURSFORTEGNELSE:	SIKRING AMPERE	LEDNINGSTVERRSNITT I MM <sup>2</sup>	
1	<i>Sov. kjeller + Bedar</i>	10	2x1,5	
2	<i>Stikk Vaskerom + Bad</i>	16	2x2,5	
3	<i>Kjøkken</i>	10	2x1,5	
4	<i>Bad + Lys i/Trapp</i>	10	2x1,5	
5	<i>Salong</i>	16	2x2,5	
6	<i>Stikk stue Østvegg</i>	16	2x2,5	
7	<i>Arb-rom + Soverom 2 + Klar</i>	10	2x1,5	
8	<i>Soverom 1 + Lys i Hall i/so</i>	10	2x1,5	
9	<i>Vaskerom + Gang i/Vaskerom</i>	10	2x1,5	
10	<i>Garasje + V.k + V.F + Ringeant</i>	10	2x1,5	
11	<i>Teknisk + bereder</i>	20	2x4	
12	<i>Gatte i/eta</i>	10	2x1,5	
13	<i>Hovedsikringer</i>	55	3x16	
14	<i>Bryter i/ingeant</i>			
15	<i>Trapp</i>			
16	<i>Jordfeilbryter Kurs 11</i>	30mA		
17	<i>Jordfeilbryter Kurs 12</i>	30mA		
18				
19				
20				
21				

NB! SKRU SIKRINGENE GODT TIL MINST EN GANG I ÅRET!

**NEBB**



## VEDLEGG B: OPPSETT AV STYRINGSSYSTEMET

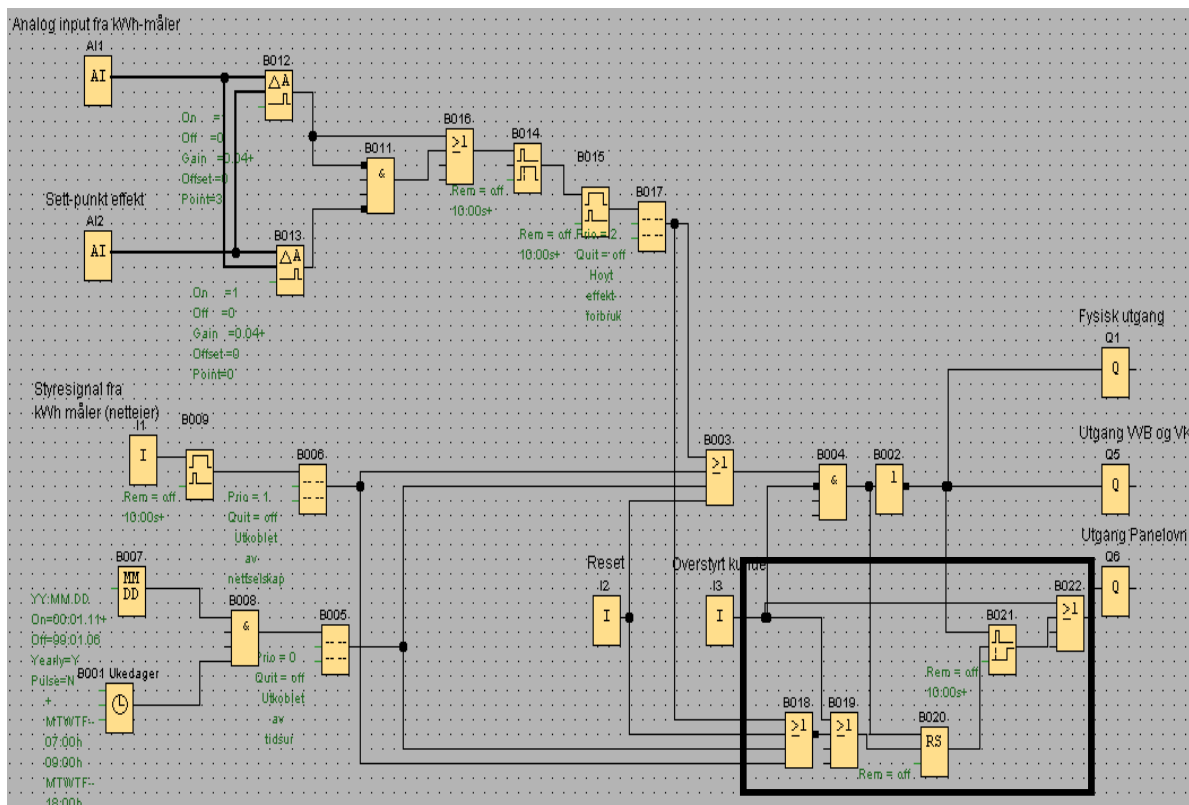


Figur 1 Komplet oppsett av energi- og effektstyringssystemet



## VEDLEGG C: PROGRAM MED FORSINKET INNKOBLING

Forandringene som er foretatt i dette programmet, fremfor det som er benyttet i prosjektet, er at forbrukslaster som er tilknyttet  $Q_6$  har en forsinket innkobling når forbrukslastene er koblet ut av ukeur, effektforbruk eller nettselskapet. Endringen av programmet kan ses i den svarte rammen i Figur 1. Forbrukslastene kan overstyres av sluttbruker på samme måte som tidligere.



Figur 1 LOGO! Program med forsinket innkobling



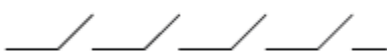
## VEDLEGG D: LOGO! FUNKSJONSLISTE

### 1. AND

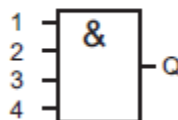
#### Short description

The output of the AND is only 1 if all inputs are 1, i.e. all contacts are closed. At an unused block input (x):  $x = 1$ .

Circuit diagram of a series circuit with several make contacts:



Symbol in LOGO!:

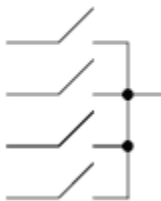


### 2. OR

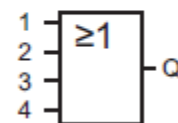
#### Short description

The output status of the OR element is only 1 if at least one input is 1, i.e. at least one of the contacts is closed. At an unused block input (x):  $x = 0$ .

Circuit diagram of a parallel circuit with several make contacts:



Symbol in LOGO!:

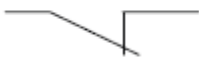


### 3. NOT (Negation, Inverter)

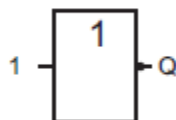
#### Short description

The output status is 1 if the input is 0. The NOT block inverts the input status. Advantage of the NOT block, for example: LOGO! does not require break contacts. You simply use a make contact and the NOT block to convert these into a break contact.

A break contact in the circuit diagram:



Symbol in LOGO!:

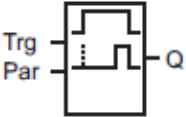


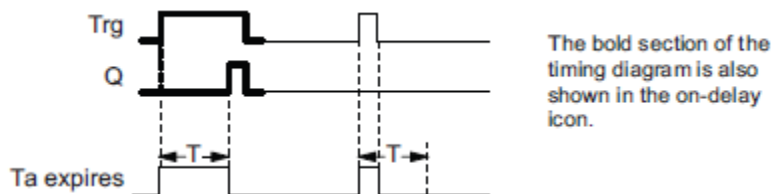
Logic table

1	Q
0	1
1	0

**4. On-delay**Short description

The output is only set after a configurable on-delay time has expired.

Symbol in LOGO!	Wiring	Description
	Input Trg	A signal at input Trg (Trigger) triggers the on-delay timer.
	Parameter	T represents the time after which the output is switched on (0 to 1 transition of the output signal). Retentivity: / = no retentivity R = the status is retentive.
	Output Q	Q is switched on when the set time T has expired, provided Trg is still set.

Timing diagramFunctional description

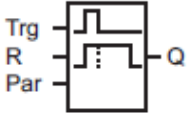
The time  $T_a$  is triggered with a 0 to 1 transition at input Trg ( $T_a$  is the current LOGO! time). If the status of input Trg is 1 at least for the duration of the configured time T, the output is set to 1 on expiration of this time (the output follows the input with on-delay). The time is reset when the status at input Trg returns to 0 before the time T has expired. The output is reset to 0 when the signal at input Trg is 0. If retentivity is not set, output Q and the expired time are reset after a power failure.



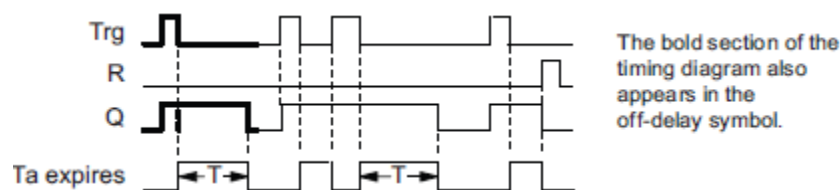
## 5. Off-delay

### Short description

When an on-delay is set, the output is reset when the configured time has expired.

Symbol in LOGO!	Wiring	Description
	Input Trg	The off-delay timer starts with a negative edge (1 to 0 transition) at input Trg (Trigger)
	Input R	A signal at input R resets the on-delay time and the output.
	Parameter	The output switches off (transitions from 1 to 0) when the delay time T expires. Retentivity: / = No retentivity R = The status is retentive.
	Output Q	Q is set with a signal at input Trg. It holds this state until T has expired.

### Timing diagram



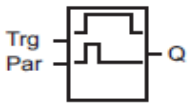
### Functional description

Output Q is set to hi immediately when the input Trg changes to hi. The actual time  $T_a$  in LOGO! is retriggered at the 1 to 0 transition of Trg. The output remains set. Output Q is reset to 0 with off-delay when  $T_a$  reaches the value configured at T ( $T_a=T$ ). The time  $T_a$  is retriggered with a one-shot at input Trg. You can set input R (Reset) to reset the time  $T_a$  and the output before  $T_a$  has expired. If retentivity is not set, output Q and the expired time are reset after a power failure.

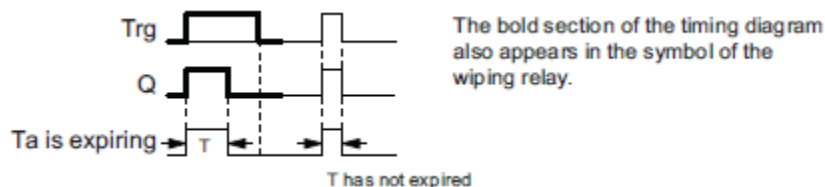
## 6. Wiping relay (pulse output)

### Short description

An input signal generates a signal with a configurable period at the output.

Symbol in LOGO!	Wiring	Description
	Input Trg	A signal at input Trg (Trigger) triggers the time for the wiping relay function.
	Parameter	The output is switched off after the time T has expired (output signal transition 1 to 0). Retentivity: / = No retentivity R = The status is retentive.
	Output Q	A signal at input Trg sets Q. If the input signal = 1, output Q remains set for the time T <sub>a</sub> .

### Timing diagram



### Functional description

A 0 to 1 transition at input Trg sets the output, and triggers a time T<sub>a</sub> during which the output remains set. Output Q is reset to lo (pulse output) when T<sub>a</sub> reaches the value preset at T (T<sub>a</sub> = T). The output is immediately reset if there is a 1 to 0 transition at input Trg before the specified time has expired. If retentivity is not set, output Q and the expired time are reset after a power failure.

## 7. Weekly timer

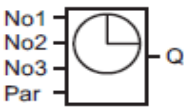
### Short description

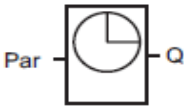
The output is controlled by means of a configurable on/off date. The function supports any combination of weekdays. You select the active weekdays by hiding the inactive days.

-

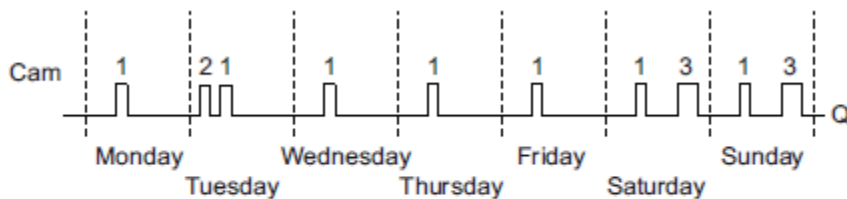
### Note

Because LOGO! 24/24o does not have a real-time clock, the weekly timer function is not available for both versions.

Symbol in LOGO! 0BA6	Wiring	Description
	Cam parameters 1, 2, and 3	At the Cam parameters, you set the on- and off-times of the weekly timer for each Cam switch. Here you also configure the days and the time-of-day.
	Par	You specify whether the timer pulses on for one cycle when activated and then reset. The pulse setting applies to all three cams.
	Output Q	Q is set when the configured cam is actuated.

Symbol in LOGO! 0BA7	Wiring	Description
	Cam parameters 1, 2 and 3	At the Cam parameters, you set the on- and off-times of the weekly timer for each Cam switch. Here you also configure the days and the time-of-day.  You can also specify whether the timer pulses on for one cycle when activated and then reset. The pulse setting applies to all three cams.
	Output Q	Q is set when the configured cam is actuated.

### Timing diagram



Cam 1:	Daily:	06:30 h to 8:00 h
Cam 2:	Tuesday:	03:10 h to 04:15 h
Cam 3:	Saturday and Sunday:	16:30 h to 23:10 h

### Functional description

Each weekly timer has three cams you can use to configure a time hysteresis. You specify the on- and off-times at the Cam parameters. The weekly timer sets the output at a certain on-time, if this is not already set. The weekly timer resets the output at a certain off-time if you configured an off-time, or at the end of the cycle if you specified a pulse output. You will cause a conflict if the on- and off-times you set for the weekly timer are identical, though set on different cams. In this case, cam3 takes priority over cam2, whereas cam2 takes priority over cam1. The switching state of the weekly timer is determined by the status of all three cams.

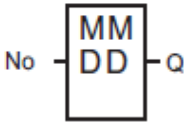
## 8. Yearly timer

### Short description

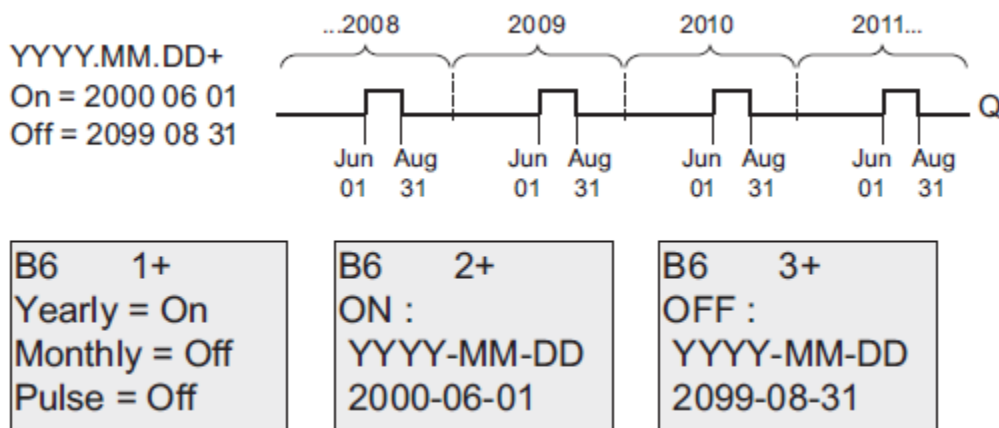
The output is controlled by means of a configurable on/off date. You can configure the timer to activate on a yearly, monthly, or user-defined time basis. With any mode, you can also configure the timer to pulse the output during the defined time period. The time period is configurable within the date range of January 1, 2000 to December 31, 2099.

### Note

Because LOGO! 24/24o does not have a real-time clock, the yearly timer is not available for both versions.

Symbol in LOGO!	Wiring	Description
	Cam parameter	At the Cam parameter, you configure the timer mode, the on-/off-times for the timer, and whether the output is a pulse output.
	Output Q	Q is set when the configured cam is switched on.

### Timing diagram



### Functional description

The yearly timer sets and resets the output at specific on and off dates. Sets and resets are executed at 00:00. If your application requires a different time, use a weekly timer together with a yearly timer in your circuit program. The on time specifies when the timer is activated. The off time specifies when the output is reset again. For the on and off times, note the order of the fields: The first field defines the year, the second the month and the third the day.

If you set the Monthly mode on, the timer output switches on each month at the specified day of the on time and remains on until the specified day of the off time. The on time specifies the initial year in which the timer is activated. The off time defines the last year in which the timer turns off. The maximum year is 2099. If you set the Yearly mode on, the timer output switches on each year at the specified month and day of the on time and remains on until the specified month and day of the off time. The on time specifies the initial year in which the timer is activated. The off time defines the last year in which the timer turns off. The maximum year is 2099.

If you set Pulse output, the timer output switches on at the specified on time for one cycle and then the timer output is reset. You can choose to pulse a timer on a monthly or yearly basis, or just a single time. If you set none of the Monthly, Yearly, or Pulse modes on, you can define a specific time period with the on time and off time. It can span any time period that you choose. For a process action that is to be switched on and off at multiple but irregular times during the year, you can define multiple yearly timers with the outputs connected by an OR function block.

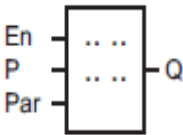
#### Backup of the real-time clock

The internal real-time clock of LOGO! is buffered against power failure. The buffering time is influenced by the ambient temperature, and is typically 80 hours at an ambient temperature of 25° C. If you are using the optional LOGO! Battery card, or combined LOGO! Memory/Battery card, LOGO! can retain the clock time for up to two years.

## 9. Message texts

### Short description

With the message text function block, you can configure a message that includes text and other parameters for LOGO! to display in RUN mode. You can configure simple message texts from the LOGO! onboard display. LOGO!Soft Comfort provides an extended set of features for message texts: bar graph representation of data, names for digital I/O states and more. Refer to the LOGO!Soft Comfort documentation for information on these features.

Symbol in LOGO!	Wiring	Description
	Input En	A 0 to 1 transition at input En (Enable) starts the output of the message text.
	Input P	P: Priority of the message text Range of values: 0...127 Message destination Message tick settings Ack: Acknowledgment of the message text

### Functional description

When LOGO! is in RUN mode, LOGO! displays the message text that you have configured along with its parameter values upon a 0 to 1 transition of the signal at input En. Based on your setting for the message destination, the message text displays on the LOGO! onboard display, the LOGO! TD, or both.

If you use flag M27 in your circuit program, then if M27=0 (low) then LOGO! displays the message text only if it is from the primary character set (Character Set 1). If M27=1 (high), then LOGO! displays the message text only if it is from the secondary character set (Character Set 2). (See the M27 flag description in topic Constants and connectors - Co (Page 138)).

If you have configured message ticking, the message will tick on and off the display according to your specifications, either a character at a time, or a line at a time. If acknowledgment is disabled (Ack = Off), the message text is hidden when the status of the signal at input En changes from 1 to 0. If acknowledgment is enabled (Ack = On) and the status of the signal at input En changes from 1 to 0, the message text is output until it is acknowledged with OK. When En = 1, you cannot acknowledge the message text.

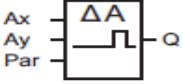
When multiple message text functions are triggered with En=1, LOGO! displays the message text with the highest priority (0 = lowest, 127 = highest). This also means that LOGO! displays a newly activated message text only if its priority is higher than that of previously activated message texts. After a message text is disabled or acknowledged, the function automatically shows the previously active message text that takes the highest priority.

You can press the ▲ and ▼ keys to step through multiple active message texts.

## 10. Analog comparator

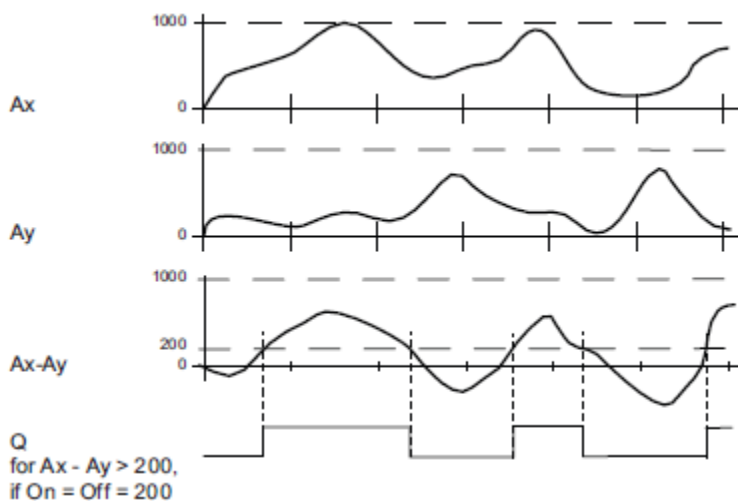
### Short description

The output is set and reset depending on the difference  $A_x - A_y$  and on two configurable thresholds.

Symbol in LOGO!	Wiring	Description
	Inputs $A_x$ and $A_y$	Inputs $A_x$ and $A_y$ are one of the following analog signals: <ul style="list-style-type: none"> <li>• AI1 to AI8 (*)</li> <li>• AM1 to AM6 (if 0BA6) or AM1 to AM16 (if 0BA7)</li> <li>• NAI1 to NAI32 (if 0BA7)</li> <li>• AQ1 to AQ2</li> <li>• NAQ1 to NAQ16 (if 0BA7)</li> <li>• Block number of a function with analog output</li> </ul>
	Parameter	A: Gain Range of values: $\pm 10.00$ B: Zero offset Range of values: $\pm 10,000$ On: On threshold Range of values: $\pm 20,000$ Off: Off threshold Range of values: $\pm 20,000$ p: Number of decimals Range of values: 0, 1, 2, 3
	Output Q	Q is set or reset, depending on the difference $A_x - A_y$ and the set thresholds..

\* AI1...AI8: 0...10 V corresponds with 0...1000 (internal value).

### Timing diagram



### Functional description

The function fetches the analog values from the inputs  $A_x$  and  $A_y$ .  $A_x$  and  $A_y$  are each multiplied by the value of the A (gain) parameter, and the value at parameter B (offset) is then added to the relevant product, i.e.  $(A_x \cdot \text{gain}) + \text{offset} = \text{actual value } A_x$  or  $(A_y \cdot \text{gain}) + \text{offset} = \text{actual value } A_y$ . The function forms the difference (" $\Delta$ ") between the actual

values  $A_x - A_y$ . Output Q is set or reset, depending on difference of the actual values  $A_x - A_y$  and the set thresholds. See the calculation rule below.

Calculation rule

- If the On threshold  $\geq$  Off threshold, then: Q = 1, if:
  - (actual value  $A_x$  - actual value  $A_y$ )  $>$  On Q = 0, if:
    - (actual value  $A_x$  - actual value  $A_y$ )  $\leq$  Off.
  - If the On threshold  $<$  Off threshold, then Q = 1, if:
    - On  $\leq$  (actual value  $A_x$  - actual value  $A_y$ )  $<$  Off.



**VEDLEGG E: UTSTYRSLISTE FOR LABFORSØK**

<b>Reg.nummer</b>	<b>Type</b>	<b>Fabrikat</b>	<b>Modell</b>
P07-0748	LOGO! 230RC	Siemens	6ED1-052-1FB00-0BA4
	LOGO! Kommunikasjonsmodul EIB	Siemens	6BK1-700-0BA00-0AA1
	Industriell spenningsforsyning 230AC/24DC	Traco Power	TCL 060-124
P10-0020	Instabus EIB Spenningsforsyning 640 mA	Siemens	5WG1 122-1AB02
P10-0020	Interface RS232	Siemens	5WG1 148-1AB02
P10-0020	Connector N191	Siemens	5WG1 191-1AB01
	Buskoppler UP114	Siemens	5WG1 114-2AB02
	Coupler wave/instabus UP140	Siemens	5WG3 140-2HB11
	Outlet switch wave S564	Siemens	5WG3 564-7AB11
	Innfelt transmitter aktuator 230V Wave	Siemens	5WG3 560-2AB01
H02-0124	Power Quality Analyzer	Fluke	433/434
I04-0487	Tang amperemeter	Fluke	336
S03-0430	RMS Multimeter	Agilent	U1241B
	Avdekkingsmatte, Gummi	DVE	



## VEDLEGG F: MÅLERESULTAT

Tid	Referanse, uten styring [kWh]	Kostnad pr time [NOK/år]	Med styring av laster [kWh]	Kostnad pr time [NOK/år]	Differanse energiforbruk [kWh]
01:00	1.439	201.56	0.989	138.43	0.451
02:00	1.071	145.64	0.769	104.51	0.302
03:00	0.946	125.96	0.693	92.25	0.253
04:00	0.997	131.22	0.714	94.02	0.283
05:00	1.103	146.84	0.856	113.92	0.247
06:00	0.979	135.95	0.820	113.87	0.159
07:00	0.910	137.06	0.845	127.32	0.065
08:00	1.164	211.12	0.213	38.66	0.951
09:00	1.748	337.59	0.295	56.92	1.453
10:00	1.714	325.95	2.403	457.06	-0.689
11:00	1.589	297.50	2.370	443.70	-0.781
12:00	1.826	329.03	2.342	422.07	-0.516
13:00	2.286	391.46	2.265	387.87	0.021
14:00	2.176	360.52	2.017	334.18	0.159
15:00	1.953	323.45	1.660	274.88	0.293
16:00	1.127	186.90	1.091	180.96	0.036
17:00	1.064	183.68	1.310	226.10	-0.246
18:00	1.091	201.48	1.337	246.82	-0.246
19:00	1.593	289.27	0.413	74.98	1.180
20:00	1.221	203.11	0.503	83.68	0.718
21:00	1.269	199.30	2.102	330.10	-0.833
22:00	1.285	195.56	1.147	174.59	0.138
23:00	1.296	191.84	1.295	191.63	0.001
00:00	1.356	191.81	1.279	180.94	0.077
<b>Totalt</b>	33.204	5443.817	29.728	4889.468	3.475
<b>Besparelse [NOK/år]</b>			554.349		
<b>Besparelse [kWh]</b>			3.475		

<b>Tid</b>	<b>Gj.snittlig effektforbruk [kWh]</b>	<b>Gj.snittlig effektforbruk [kWh]</b>	<b>Differanse [kWh]</b>
01:00	2.706	2.30	0.41
02:00	2.203	2.44	-0.24
03:00	2.121	1.89	0.23
04:00	1.985	1.79	0.19
05:00	2.197	2.20	0.00
06:00	2.203	2.39	-0.18
07:00	1.957	2.17	-0.21
08:00	2.681	1.52	1.17
09:00	2.309	1.69	0.62
10:00	3.336	3.86	-0.52
11:00	2.925	4.28	-1.36
12:00	3.319	3.74	-0.42
13:00	3.838	4.03	-0.19
14:00	4.065	3.14	0.92
15:00	3.485	2.58	0.90
16:00	2.078	2.05	0.02
17:00	1.890	2.72	-0.83
18:00	3.587	2.90	0.68
19:00	3.398	2.16	1.24
20:00	2.822	2.10	0.72
21:00	2.940	3.91	-0.97
22:00	2.721	1.85	0.87
23:00	2.799	2.36	0.44
00:00	2.439	2.75	-0.31
<b>Totalt</b>			<b>3.18</b>

## VEDLEGG G: LISTEPRISER

### Siemens

Komponenter	Produktnummer	Pris
LOGO! Logisk modul	6ED1-052-1FB00-0BA6	kr. 1 080,-
Kommunikasjonsmodul EIB	6BK1-700-0BA00-0AA2	kr. 1 480,-
Spenningsforsyning	5WG1 125-1AB01	kr. 1 470,-
USB Interface	5WG1 148-1AB11	kr. 2 070,-
Gateway KNX/KNX-RF	5WG3 140-2HB11	kr. 1 240,-
Busskobler	5WG1 114-2AB02	kr. 961,-
Stikkontaktmontert binærutgang	5WG3 564-7AB11	kr. 1 200,-
Trådløst innfelt relè	5WG3 560 2AB01	kr. 1 960,-
Energimåler	7KT1542	kr. 4 400,-
Kommunikasjonsmodul EIB/KNX	7KT1900	kr. 4 370,-

### Hager

Komponenter	Produktnummer	Pris
Radio KNX innfelt aktorutgang, 1kanal, 16A	TR201	kr. 726,-
Radio KNX innfelt sensor, 2 kanaler, 230V	TR302B	kr. 671,-