

Camilla Scharp Gulbrandsen

# Konsekvenser og lønnsomhet av effektkontrollalgoritme som sluttbrukertiltak ved innføring av effektbasert nettleiestruktur

Masteroppgave i Energiplanlegging og miljøanalyse

Veileder: Eilif Hugo Hansen

Juni 2020



Camilla Scharp Gulbrandsen

# **Konsekvenser og lønnsomhet av effektkontrollalgoritme som sluttbrukertiltak ved innføring av effektbasert nettleiestruktur**

Masteroppgave i Energiplanlegging og miljøanalyse  
Veileder: Eilif Hugo Hansen  
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk  
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden



NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET

NTNU



## MASTEROPPGAVE

- Kandidatens navn : Camilla Scharp Gulbrandsen
- Emne : TET4915 Energiplanlegging og miljøanalyse, masteroppgave
- Oppgavens tittel (norsk) : **Konsekvenser og lønnsomhet av effektkontrollalgoritme som sluttbrukertiltak ved innføring av effektbasert nettleiestruktur**
- Oppgavens tittel (engelsk) : Consequences and profitability of power control algorithm as an end user measure in the implementing of power based grid tariffs
- Oppgavens tekst : Et større forbruk av effektkrevende laster har de siste årene ført med seg utfordringer knyttet til kapasiteten i forsyningsnettet. For å motivere strømkunde til å bidra i å løse utfordringene, har RME foreslått en endring i nettleiestrukturen. Overgangen fra en energibasert til effektbasert nettleie skal gjøre kunden bevisst på sitt eget momentane effektforbruk, fremfor totalt energiforbruk over en lengre periode. Overgangen byr på nye utfordringer, som å få kunden til forstå forskjellen mellom *effekt* og *energi*, og forstå behovet for forbruksendring. I tillegg ligger det en usikkerhet i om selve nettleien vil bli billigere eller dyrere for kunde å betale.
- Kandidaten skal i denne besvarelsen
- videreutvikle og teste metoder og algoritmer for effektkontroll i husholdning
  - beregne kostnader ved ulike nettleiemodeller, og økonomiske besparelser ved implementert effektkontrollalgoritme
- Oppgaven gitt : 15.01.20
- Besvarelsen leveres innen : 19.06.20
- Kandidatens veileder : Eilif H. Hansen, NTNU

Trondheim, 18.06.20

  
faglærer



## Forord

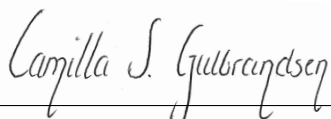
Denne masterbesvarelsen er utarbeidet vårsemesteret 2020 ved Instituttet for elkraftteknikk ved Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven bygger videre på forstudiet gjennomført høsten 2019, presentert i egen prosjektrapport med tittelen “Sluttbrukertiltak for utjevning av effekttopper”.

Masterbesvarelsen omhandler et norsk kraftnett under press, og er en fordypning i et potensielt tiltak implementert på forbrukersiden, nemlig automatisk laststyring. I et stadig mer automatisert samfunn, skal det automatiske laststyringssystemet bidra som løsning til kapasitetsproblemet. Tiltaket skal gagne enkeltkunden så vel som nettselskapene og kundene som et fellesskap.

Det rettes en stor takk til veileder av både prosjekt- og masteroppgaven, Førsteamanuensis Eilif Hugo Hansen, for god veiledning, innspill og hjelp med Smarthuset underveis i arbeidet. I en tid med alvorlig pandemi og smittefare har han arbeidet for at jeg skal få fullføre min opprinnelige besvarelse, og hatt troen på at jeg skulle greie å gjennomføre laboratorieoppgaven på en trygg og god måte, spesielt med hensyn til smittefare.

Ideer, innspill og delt kunnskap har blitt satt stor pris på. Jeg ønsker å takke alle som har bidratt med dette. Takk til avdelingsingeniør Aksel Andreas Reitan Hanssen, amanuensis Anders Gytri og professor Geir Mathisen for hjelp i Smarthuset. Jeg ønsker også å takke alle som har bidratt med kloke ord og innspill over e-post, i en tid med begrenset mulighet for møter. Sist, men ikke minst, takk til alle mine medstudenter. Takk for den siste tiden, hvor vi alle har stått *alene, men sammen*. Takk for 5 lærerike og minnerike år som aldri vil bli glemt.

Trondheim, Juni 2020



---

Camilla Scharp Gulbrandsen





## Sammendrag

Norges kraftnett er under press. Elektrifisering av samfunnet og økt forbruk av effektkrevende laster, som elbillader, induksjonstopper og hurtigvarmere, fører til økt behov for utbygging av kraftnettet. De forventede investeringskostnadene som følge av dette vil påvirke kundens nettleie, da kraftnettet er 100% brukerfinansiert.

Gjennom endringer i nettleiestrukturen ønsker RME å incentivere kunder til å endre forbruksmønster. Gjennom omlegging fra energibasert til effektbasert nettleie vil kunden ønske å redusere sitt maksimale effektuttak, og på denne måten bidra til å redusere kapasitetsproblemet, og til en effektiv drift og utnyttelse av det eksisterende strømmettet. At sluttbruker kan og stiller seg villig til endre forbruksmønster kaller vi forbrukerfleksibilitet. På bakgrunn av laster i norske husholdninger, og energi- og effektforbruk, har Statnett estimert et potensiale for forbrukerfleksibilitet for denne sektoren på hele 6,3 GW i 2030.

For å styre husholdningens effektforbruk, og raskt respondere til de hyppige variasjonene i strømmettet, kan det med fordel integreres et automatisk laststyringssystem i boligen. Med ønske i å redusere effektforbruket, og følgelig kundens nettleie, er det i denne besvarelsen testet en effektkontrollalgoritme for automatisk laststyring i Smarthus-laboratoriet, utformet som en leilighet. Leiligheten er utstyrt med laster tilsvarende en konvensjonell norsk leilighet, og flere av disse er egnet som det vi kaller fleksible. Dette er laster som ved utkobling i korte tidsrom ikke skal gå på bekostning av opplevd komfort, eller som ved tidsforskyvning ikke skal føre til misnøye hos forbruker. Eksempler på slike laster er gulvvarme og elbillader. Den implementerte algoritmen skal med laststyring sørge for at husholdningens effektforbruk ikke overskrider en forhåndsbestemt effektgrense. Dette skal den gjøre ved å hele tiden overvåke forbruket, og koble ut nettopp disse fleksible lastene dersom nødvendig. De fleksible lastene er rangert i en prioriteringsliste, slik at det er forbruker selv som velger hvilke av lastene som er viktigst, og skal kobles ut sist. Effektgrensen bestemmes også av forbruker selv.

Effektkontrollalgoritmen er testet for 8 scenarier, inkludert et basisscenario. Scenariene er kombinasjoner av tiltak, med reduserte effektgrenser, smart lading og streng styring av varmtvannsbereder. Resultatet av målingene var en reduksjon av maksimal effekt og total energi, både i og utenfor topplasttimer, for alle scenariene. På det meste ble maksimal effekt redusert med 55%. Dette var tilfellet med en effektgrense på 4 kW, smart lading og streng styring av varmtvannsberederen, begrenset til timene utenfor nettets topplast.

Nettleiene for de målte scenariene er beregnet med dagens og RME sine foreslåtte modeller; abonnert effekt, målt effekt og sikringsdifferensiert nettleie. Både med og uten tidsdifferensiert energiledd ble nettleien lavest ved sikringsdifferensiert nettleiemodell. Implementering av effektkontrollalgoritmen ga økonomiske besparelser for alle scenarier og foreslåtte nettleiemodeller, med basisscenariet som referanse. De største besparelser var ved abonnert effekt, etterfulgt av målt effekt. Følgelig ble også tilbakebetalingstiden ved innkjøp av smarthus teknologi kortest for disse modellene. De økonomiske besparelsene med både dagens nettleie og basisscenariet som referanse er studert for å se den samlede konsekvensen av ny nettleie, i kombinasjon med automatisk laststyringssystem. Resultatene belyser at kunde *kan* spare ved riktige valg av tiltak.



## Abstract

The Norwegian power grid is under pressure. Electrification and increased consumption of power-intensive loads, such as electric vehicle, induction hobs and tankless water heaters, increases the need for grid development. The resulting expected investment costs will affect the customer's grid rent, as the power grid is 100% user-financed.

Through changes in the power tariffs, RME wants to incentivize customers to change their consumption patterns. Changing from energy- to power-based grid rent, the customer would want to reduce their peak power, thereby helping reducing the capacity issue, as well as contributing to efficient operation and utilization of the existing power grid. The fact that the end-users can and are willing to change the pattern of consumption is called demand response. On the basis of loads in Norwegian households, energy consumption and peak power, Statnett has estimated a potential demand response of 6.3 GW for this sector in 2030.

In order to control household power consumption, and to respond quickly to the frequent variations in the grid, an automatic load management system can advantageously be integrated into the home. In order to reduce peak power, and consequently the customer's grid rent, a power control algorithm for automatic load management is tested in the Smarthouse laboratory, designed as an apartment. The apartment is equipped with loads similar to a conventional Norwegian apartment, several suitable as what we call flexible. These are loads that, when switching off for a short period of time, should not be at the expense of perceived comfort, or which should not lead to consumer dissatisfaction when postponed. Examples of such loads are heating cables and charging of electric vehicles. The implemented algorithm shall ensure that the household's peak power does not exceed a predetermined power limit. This is to be done by constantly monitoring consumption and switching off precisely these flexible loads if necessary. The flexible loads are ranked in a priority list, so the consumer are to choose himself which of the loads are of most importance, and should be switched off last.

The power control algorithm has been tested for 8 scenarios. The scenarios are combinations of measures, with reduced power limits, smart charging and strict control of the water heater. The result of the measurements was a reduction of maximum power and total energy, both during and outside peak load hours, for all scenarios. At most, maximum power was reduced by 55 %. This was the case with a power limit of 4 kW, smart charging and strict control of the water heater, limited to the hours outside the grid's top load.

The grid rent is calculated for all scenarios using today's and RME's proposed models; *abonnert effekt*, *målt effekt* og *sikringsdifferensiert nettleie*. Calculated grid rent, both with and without time-differentiated energy, was lowest with *sikringsdifferensiert nettleie*.

Implementation of the power control algorithm provided financial savings for all scenarios and proposed grid rent models, with the base scenario as a reference. The biggest savings were found through *abonnert effekt*, followed by *målt effekt*. Consequently, the payback time for purchasing smart home technology was also shortest for these models. The financial savings with both current grid rent and the base scenario as a reference have been studied to see the overall consequence of new grid rent, in combination with automatic load management system. The results illustrate that the customer *can* save with the right choice of measures.



## **Nomenklatur**

<b>AMS</b>	Avanserte måle- og styringssystemer
<b>GEN</b>	Glitre Energi Nett AS
<b>HAN</b>	Home Area Network
<b>HEM</b>	Home Energy Management
<b>KILE</b>	Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi
<b>LM4</b>	Logic Machine 4
<b>MVA</b>	Merverdiavgift
<b>NNV</b>	Netto nåverdi
<b>NTNU</b>	Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet
<b>NVE</b>	Norges vassdrags- og energidirektorat
<b>RKOM</b>	Regulerkraftopsjonsmarkedet
<b>RME</b>	Reguleringsmyndighetene for energi
<b>ToU</b>	Time of Use
<b>VPN</b>	Virtuelt privat nettverk



# Innhold

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
<b>2 Det norske overføringsnettet</b>	<b>3</b>
2.1 Prognoser for forbruk og nettutvikling . . . . .	3
2.1.1 Energibehov . . . . .	3
2.1.2 Effektbehov og resulterende forventede investeringer . . . . .	4
2.1.3 Elektriske biler . . . . .	6
<b>3 Forslag om endring i nettleiestruktur</b>	<b>9</b>
3.1 Bakgrunn for forslag til endring . . . . .	9
3.2 Foreslått nettleiestruktur . . . . .	10
3.2.1 Tariffmodellene . . . . .	10
3.2.2 Differensierte energi- og effektledd . . . . .	11
3.2.3 Valg av oppløsning i beregning av midlere effekt . . . . .	12
3.3 Forutsetninger . . . . .	13
3.3.1 Kommunikasjon . . . . .	13
3.3.2 Kvalifiserte anbefalinger . . . . .	13
3.3.3 Kommunikasjon knyttet til brannsikkerhet . . . . .	14
3.4 Holdninger til de foreslåtte modellene . . . . .	14

<b>4</b>	<b>Automatisk laststyring som sluttbrukertiltak</b>	<b>17</b>
4.1	Forbrukerfleksibilitet . . . . .	17
4.2	Formålet med automatisk laststyring . . . . .	18
4.3	Forutsetninger . . . . .	18
4.3.1	Smart teknologi . . . . .	18
4.3.2	Automatisering . . . . .	18
4.3.3	Advanced Metering Infrastructure - AMS . . . . .	19
4.3.4	Fleksible laster og energibærere i norske husholdninger . . . . .	20
4.3.5	Inneklima . . . . .	21
4.3.6	Brukergrensesnitt . . . . .	23
4.4	Effekttariff som incentiv og forutsetning . . . . .	24
4.5	Utfordring vedrørende frekvens- og spenningskvalitet . . . . .	24
4.6	Fremtidige muligheter . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Utvikling av automatisk styringssystem</b>	<b>27</b>
5.1	Tidligere Arbeid . . . . .	27
5.1.1	Algoritme for laststyring - Tidligere arbeid fra IEEE . . . . .	27
5.1.2	Algoritme for laststyring - Masteroppgave av Hanna Skulstad . . . . .	27
5.2	Overordnet funksjonalitet . . . . .	28
5.3	Laster i norsk husholdning . . . . .	29
5.3.1	Fleksible laster . . . . .	29
5.3.2	Planleggbare laster (Semi-fleksible laster) . . . . .	30
5.3.3	Ikke-fleksible laster . . . . .	30
<b>6</b>	<b>Om Smarthus-laboratoriet</b>	<b>31</b>
6.1	Bygningsstruktur . . . . .	31
6.2	Strømforsyning . . . . .	33



6.3	Styringssystemet . . . . .	33
6.4	Laster i Smarthuset . . . . .	35
6.4.1	Fleksible laster . . . . .	35
6.4.2	Planleggbare laster (Semi-fleksible laster) . . . . .	38
6.4.3	Ikke-fleksible laster . . . . .	38
<b>7</b>	<b>Algoritme for automatisk laststyring i Smarthuset</b>	<b>41</b>
7.1	Algoritmens funksjonalitet . . . . .	41
7.2	Implementering av algoritmen i Smarthuset . . . . .	43
7.3	Parametere . . . . .	44
7.3.1	Konstanter . . . . .	44
7.3.2	Variable . . . . .	46
7.4	Styring av de enkelte fleksible lastene . . . . .	46
<b>8</b>	<b>Styring og måling av effektforbruk i Smarthuset</b>	<b>51</b>
8.1	Imitasjon av effektbehov ved vinterstid . . . . .	51
8.2	Timeplan og forbruksmønster . . . . .	51
8.2.1	Timeplan . . . . .	51
8.2.2	Scenarier som avviker fra timeplanen . . . . .	52
8.2.3	Supplert energi . . . . .	53
8.2.4	Natt- og dagsenking . . . . .	54
8.3	Grafene - Oppløsning, forsinkelser og fargekoder . . . . .	55
8.4	Scenarier . . . . .	56
8.5	Resultater . . . . .	57
8.5.1	Basisscenario . . . . .	57
8.5.2	Scenario 1 . . . . .	59
8.5.3	Scenario 2 . . . . .	61

8.5.4	Scenario 3	63
8.5.5	Scenario 4	65
8.5.6	Scenario 5	67
8.5.7	Scenario 6	69
8.5.8	Scenario 7	71
8.5.9	Energi- og effektreduksjon	73
8.6	Feil under døgnmåling	74
<b>9</b>	<b>Økonomiske betraktninger</b>	<b>77</b>
9.1	Beregning av månedlig nettleie - Modeller og priser fra NVE	77
9.1.1	Kostnadsbesparelser	84
9.2	Beregning av månedlig nettleie - Modell og priser fra Glitre Energi Nett AS	87
9.2.1	Kostnadsbesparelser	89
9.3	Merverdiavgift, forbrukeravgift og Enovafondet	89
9.4	Tilbakebetalingstid	90
9.4.1	Nåverdimetoden	91
9.4.2	Resultater	92
9.5	Valg av abonnert effekt med hensyn til systemets effektgrense	93
<b>10</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>95</b>
10.1	Valg av effektgrense	95
10.2	Komfortbetingelser	95
10.3	Integrering av sesonguavhengige og semi-fleksible laster	96
10.4	Lønnsomhet ved sluttbrukertiltak	98
10.4.1	Effektreduksjon versus energireduksjon	98
10.4.2	Oppløsning på fakturering	99
10.5	Potensielle utfordringer knyttet til tidsdifferensiert energiledd	99

10.6 Videreutvikling av styringssystemet . . . . .	100
<b>11 Konklusjon</b>	<b>101</b>
<b>12 Videre Arbeid</b>	<b>103</b>
<b>Referanser</b>	<b>105</b>
<b>A Utstyrliste</b>	<b>109</b>
<b>B E-postutveksling</b>	<b>111</b>
B.1 NVE . . . . .	111
B.2 Elvia AS . . . . .	113
B.3 Glitre Energi Nett AS . . . . .	114
<b>C Algoritme</b>	<b>117</b>
C.1 Konstanter (Skript: <i>Common functions</i> ) . . . . .	117
C.2 Variable (Skript: <i>Common functions</i> ) . . . . .	117
C.3 Funksjoner (Skript: <i>Common functions</i> ) . . . . .	118
C.4 Overvåkning av varmelaster (Skript: <i>Resident</i> ) . . . . .	121
C.5 Overvåkning av varmtvannsbereder (Skript: <i>Resident</i> ) . . . . .	121
C.6 Overvåkning av aktiv effekt (Skript: <i>Resident</i> ) . . . . .	121
C.7 Effektkontrollalgoritme (Skript: <i>Common functions</i> ) . . . . .	122
<b>D Utregning av nettleie i Excel</b>	<b>123</b>



## Figurer

2.1	Netto import og eksport av kraft i Norge [3]. . . . .	3
2.2	Strømforbruk i Fastlands-Norge. Kilde: SSB 2000 til 2018 og NVEs referansebane mot 2040. . . . .	4
2.3	Fordeling av årsaker til investering i distribusjonsnett. Kilde: NVE [7] . . . . .	6
2.4	Illustrasjon av mulig utvikling i energibruk til personbiler og varebiler i Norge ved overgang til elbiler. Kilde: NVE [8] . . . . .	7
4.1	Forbrukerfleksibilitet . . . . .	17
4.2	Energiforbruk i norske husholdninger, fordelt på formål og energibærere[24]. . . . .	20
4.3	PPD VS. PMV hentet fra Byggforskserien [25] . . . . .	22
4.4	Komforttemperaturer for forskjellige gulvmaterialer for mennesker uten sko og sokker[25]. . . . .	23
4.5	Prosent misfornøyde som funksjon av gulvtemperatur for mennesker med lett, innendørs fottøy[25]. . . . .	23
5.1	Flytskjema for effektkontrollalgoritmen hentet fra Skulstad sin masterbesvarelse [1]. . . . .	28
6.1	Plassering av Smarthuset på Elektrobygget, Gløshaugen Campus . . . . .	31
6.2	Plantegning av Smarthuset . . . . .	32
6.3	Et utvalg komponenter i Smarthuset . . . . .	34
6.4	Struktur og kommunikasjon i styringssystemet. . . . .	35
6.5	Vaskemaskin og tørketrommel fra Samsung. Bilde hentet fra deres egen hjemmeside. . . . .	38
7.1	Flytskjema for styringsalgoritmens funksjonalitet. . . . .	42
7.2	Flytskjema for implementering av laststyringssystem i <i>Logic Machine</i> . . . . .	44
7.3	Temperatursystem i stue, i gang og på arbeidsrom. . . . .	48
8.1	Timeplan . . . . .	52
8.2	Timer med natt- og dagsenking. . . . .	54
8.3	Resultater Basisscenariet . . . . .	58

8.4	Resultater Scenario 1 . . . . .	60
8.5	Resultater Scenario 2 . . . . .	62
8.6	Resultater Scenario 3 . . . . .	64
8.7	Resultater Scenario 4 . . . . .	66
8.8	Resultater Scenario 5 . . . . .	68
8.9	Resultater Scenario 6 . . . . .	70
8.10	Resultater Scenario 7 . . . . .	72
8.11	Reduksjon i effektforbruk med basisscenariet som referanse . . . . .	73
8.12	Reduksjon i energiforbruk med basisscenariet som referanse . . . . .	74
8.13	Effektforbruk ved feilende effektkontrollalgoritme . . . . .	75
9.1	Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	84
9.2	Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	85
9.3	Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	85
9.4	Kostnadsendring med basisscenariet som referanse. . . . .	86
9.5	Kostnadsendring med basisscenariet og dagens nettleie som referanse. . . . .	87
9.6	Kostnadsendring ved <i>smart</i> nettleie, med basisscenariet som referanse. . . . .	89
9.7	Resultat av abonnert effekt forskjellig fra systemets effektgrense . . . . .	93
B.1	E-post fra Andreas Bjelland Eriksen i NVE . . . . .	112
B.2	E-post fra Silje Elise Harsem fra Elvia AS . . . . .	113
B.3	E-post fra Knut Olav Bakkene i Glitre Energi Nett AS . . . . .	115

## Tabeller

4.1	PMV-indeks . . . . .	21
6.1	Fleksible laster i Smarthus-laboratoriet . . . . .	35
6.2	Ikke-fleksible laster i Smarthus-laboratoriet . . . . .	39
8.1	Scenarier . . . . .	56
8.2	Basisscenario: Effekt- og energiforbruk . . . . .	57
8.3	Scenario 1: Effekt- og energiforbruk . . . . .	59
8.4	Scenario 2: Effekt- og energiforbruk . . . . .	61
8.5	Scenario 3: Effekt- og energiforbruk . . . . .	63
8.6	Scenario 4: Effekt- og energiforbruk . . . . .	65
8.7	Scenario 5: Effekt- og energiforbruk . . . . .	67
8.8	Scenario 6: Effekt- og energiforbruk . . . . .	69
8.9	Scenario 7: Effekt- og energiforbruk . . . . .	71
9.1	Nettleiepriser fra RME . . . . .	77
9.2	Basisscenario: Effekt- og energiforbruk . . . . .	78
9.3	Basisscenario: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	79
9.4	Basisscenario: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	79
9.5	Scenario 1: Effekt- og energiforbruk . . . . .	79
9.6	Scenario 1: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	79
9.7	Scenario 1: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	79
9.8	Scenario 2: Effekt- og energiforbruk . . . . .	80
9.9	Scenario 2: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	80
9.10	Scenario 2: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	80
9.11	Scenario 3: Effekt- og energiforbruk . . . . .	80
9.12	Scenario 3: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	81

9.13 Scenario 3: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	81
9.14 Scenario 4: Effekt- og energiforbruk . . . . .	81
9.15 Scenario 4: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	81
9.16 Scenario 4: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	81
9.17 Scenario 5: Effekt- og energiforbruk . . . . .	82
9.18 Scenario 5: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	82
9.19 Scenario 5: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	82
9.20 Scenario 6: Effekt- og energiforbruk . . . . .	82
9.21 Scenario 6: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	83
9.22 Scenario 6: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	83
9.23 Scenario 7: Effekt- og energiforbruk . . . . .	83
9.24 Scenario 7: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	83
9.25 Scenario 7: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd . . . . .	83
9.26 Glitre Energi Nett AS: Nettleiepriser - 2020 . . . . .	88
9.27 Månedlig nettleie beregnet med GEN sin smarte nettleie. . . . .	88
9.28 Tilbakebetalingstid [år] . . . . .	92
A.1 Komponenter og laster i Smarthuset . . . . .	109



# 1 Introduksjon

Elektrifisering av samfunnet er en del av det vi idag kaller Det Grønne Skiftet. Gjennom økt forbruk av fornybart til fordel for fossilt brensel ligger det både økonomiske og klimamessige potensiale, og det er derfor viktig at det eksisterende kraftnettet ikke blir en flaskehals i utviklingen. Nettet må dimensjoneres for å dekke forbrukstoppene, og sørge for tilstrekkelig forsyningssikkerhet.

Motivasjonen for denne besvarelsen ligger i prognosene for fremtidig kraftbruk, og resulterende utbygging av strømmettet. Kraftnettet må dimensjoneres for å dekke maksimal last - en last vi som sluttbrukere nå vil bli incentivert til å redusere gjennom ny nettleiestruktur.

NVE foreslår endring i nettleiestrukturen. Hensikten er at nettleien skal bedre reflektere kostnadsstrukturen i strømmettet, som videre skal motivere strømkunde til å redusere effektforbruket når det allerede er høy belastningen på nettet. Dette vil utsette, og i beste fall eliminere, behovet for økt nettkapasitet, og på denne måten bidra til lavest mulig kostnader knyttet til strømmettet.

Ny teknologi, sett i kombinasjon med digitalisering av kraftbransjen, åpner for en mer aktiv deltagelse som sluttbruker i kraftnettet. Viktigheten av fleksibilitet på forbrukernivå er også tydelig i ubalansen som oppstår mellom produksjon og forbruk, som et resultat av økende andel uregulerbar kraft og innføringen av nye effektkrevde apparater. Prognoser vedrørende kraftnettet, foreslåtte tariffmodeller, utviklingen av smarthusteknologi og utrulling av smarte målere er også drøftet som motivasjon for besvarelsen. Automatisk laststyring som sluttbrukertiltak er formulert som en del av løsningen på problemet.

I norske husholdninger er det oppvarming som står for mesteparten av strømforbruket. Det er i tillegg økt forbruk som et resultat av økt andel elektrifiserte kjøretøy på norske veier. God kunnskap om individuelle lasters påvirkning på husholdningens totalforbruk gjennom døgnet, i tillegg til potensiell fleksibilitet, legger grunnlaget for utviklingen av et effektivt laststyringssystem.

Med ønske i å ta del i utviklingen av smarte løsninger knyttet til smarte hus og smarte nett, har det på NTNU Gløshaugen blitt utviklet et smarthus-laboratorium utformet som en leilighet, videre omtalt som Smarthuset. I denne masterbesvarelsen skal effektprofilen i Smarthuset forskes på. Effektforbruket etter implementering av automatisk laststyringssystem skal sammenlignes med et basisscenario uten styring, og resulterende effektbaserte nettleie skal kalkuleres og sammenlignes med nåværende energibaserte nettleiestruktur. Økonomiske betraktninger ved bruk av effektbasert tariff med tidsdifferensiert energiledd vil også sammenlignes med tidligere utregnede nettleier, for å undersøke virkningen av varierende energiledd. Hovedformålet med laststyringssystemet er å redusere husholdningens totale nettleie gjennom året. Resultatene vil avsløre hvilket scenario og hvilken nettleie som vil gi størst reduksjon av alle tilfellene i denne besvarelsen. De vil avsløre om styringsalgoritmen fungerte som ønsket, og om komponenter og produkter for styring er lønnsomme med hensyn til tilbakebetalingstid.

I 2018 leverte Hanna Tysseland Skulstad sin masteroppgave *Utvikling av algoritmer for automatisk effektkontroll i bolig* [1]. Algoritmen for lastkontroll ble utviklet for og implementert i det samme smarthus-laboratoriet som denne masteroppgaven rettes mot. Varmelaster representerte alle de fleksible lastene i husholdningen da laboratoriet ikke var ferdig utstyrt. Idag er Smarhuset utstyrt med laster tilsvarende en fungerende leilighet, og effektkontrollalgoritmen i denne masterbesvarelsen er dermed en videreutvikling av Skulstad sin algoritme fra 2018.

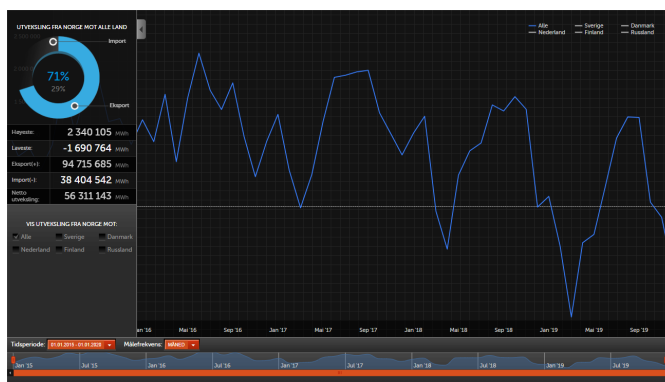
### **Relasjon til fordypningsprosjekt**

Oppgaven bygger videre på fordypningsrapporten fra høsten 2019, *Sluttbrukertiltak for utjevning av effekttopper*, med fokus på automatisk laststyring. Arbeidet i fordypningsrapporten er nøye gjennomgått og bearbeidet, og deler av teorien i denne masterbesvarelsen vil derfor være direkte hentet fra denne. Teori og annen litteratur studert i etterkant av fordypningsprosjektet er flettet inn i de overførte avsnittene for en mer informativ og relevant tekst med hensyn til den nye problemstillingen.

## 2 Det norske overføringsnett

Fornybar strøm har de siste årene erstattet behovet for fossilt brensel i både transportsektoren og varmesektoren. I fremtiden vil industrien også i større grad drives av elektrisitet. Elektrifisering sett i sammenheng med et forbruksmønster i endring fører til at vi i fremtiden vil ha behov for mer strøm på samme tid, altså et økt momentant effektbehov.

Det har de siste årene vært en større økning i effektuttak fremfor økning i energibehov. Trenden ser ikke ut til å gi seg med det første. Økning i kraftproduksjon gjennom utbyggingen av vindturbiner og vannkraftverk, samt bedre utnyttelse av eksisterende kraftverk, sett i sammenheng med energieffektive komponenter i strømmettet vil på sikt resultere i ytterligere kraftoverskudd. Energi er ikke en mangelvare.[2]



Figur 2.1: Netto import og eksport av kraft i Norge [3].

Figur 2.1 er hentet fra Statnett sin egen hjemmeside[3]. Grafen representerer netto import og eksport av kraft [MWh] per time for Norge, fra 2015 til og med 2019. Tallene viser til en positiv netto eksport av kraft til andre land i løpet av de siste årene, og understøtter samtidig som tidligere nevnt; knapphet på energi representerer ikke en utfordring i nettet. Utfordringen vi nå står ovenfor er det totale momentane effektuttaket som utfordrer den eksisterende overføringskapasiteten til linjene.

Nettutvikling er essensielt for å dekke strømkundenes behov, i tillegg til å opprettholde strøm av en gitt kvalitet. Konsekvenser av overbelastning er blant annet varmeutveksling. Dette kan føre til skade på utstyr, og en reduksjon i komponentens levetid. Sikring og vern vil ved overbelastning sørge for å koble ut de delene av nettet som dette gjelder. En slik stopp i forsyning kan få høye kostnader, blant annet gjennom KILE-ordningen; kostnad ved ikke levert energi. Videre vil utkobling kunne få store konsekvenser for enkelte kundegrupper som sterkt avhenger av forsyningen, for eksempel industri.

### 2.1 Prognoser for forbruk og nettutvikling

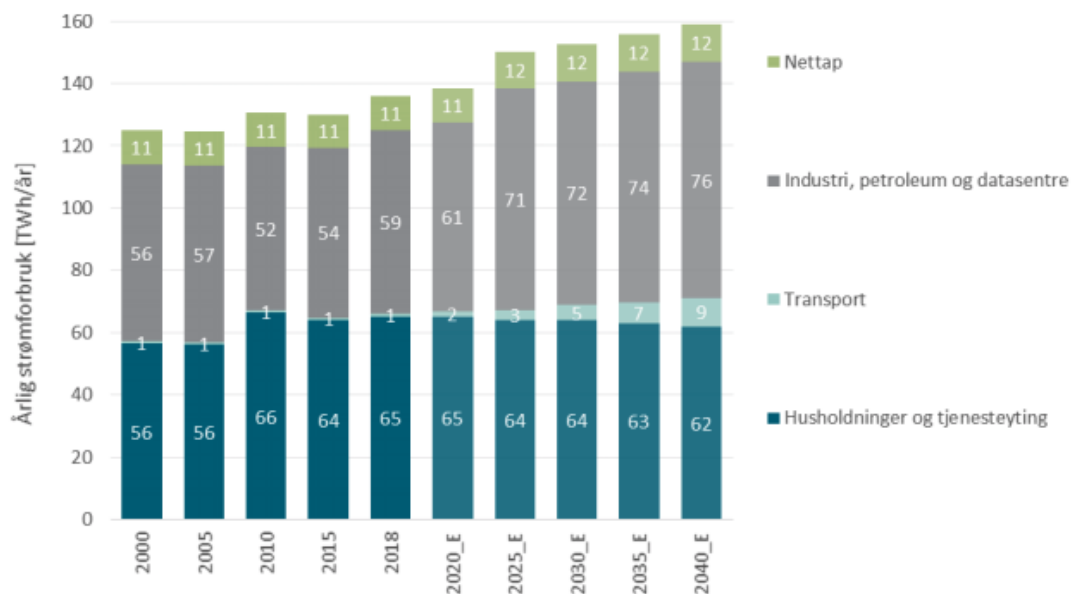
#### 2.1.1 Energibehov

Husholdninger og tjenesteytende næringer er i NVE sin rapport *Strømforbruk mot 2040* [4] slått sammen til én felles sektor; bygg. Industri og transport er de to resterende hovedsektorene i deres forskning på strømforbruket. Ifølge den nevnte rapporten dekker strøm, altså

elektrisk energi, hele 80% av energibruken i bygningssektoren. Sett i sammenheng med en stadig økende boligmasse er det å anta en økning i total strømforbruk i denne sektoren. Likevel peker NVE ut flere faktorer som bidrar til å dempe veksten, og til og med utligne den. Først og fremst peker de på energieffektiviserende løsninger i selve bygget i form av teknisk utstyr til oppvarming og andre energieffektive elektriske apparater. I tillegg vil nyere bygg og fremtidens bygg være underlagt kravene presentert i TEK17, og kommende fornyelser av denne. Dette betyr at vi idag bygger boliger med høyere energiytelse og energieffektivitet sammenlignet med tidligere. Som et eksempel vil mindre varmetap gjennom bedre isolasjon føre til et mindre energibehov for å opprettholde termisk komfort.

Figur 2.2 viser registrert strømforbruk fra 2000 til 2018, og prognosene for årene frem til 2040 for de tre nevnte sektorene.

Som illustrert i diagrammet forventes det en økning i total årlig strømforbruk. Økningen skyldes i hovedsak elektrifisering av transport- og industrisektoren, mens forbruket i husholdninger og tjenesteyting er forventet å sette en demper på den totale økningen med sitt minkende forbruk sammenlignet med tidligere målte år.



Figur 2.2: Strømforbruk i Fastlands-Norge. Kilde: SSB 2000 til 2018 og NVEs referansebane mot 2040.

### 2.1.2 Effektbehov og resulterende forventede investeringer

Både strøm- og krafttransformatorer, linjer og kabler bidrar til begrensninger i nettet. Dagens nettkapasitet er tilstrekkelig for dagens effekt og energibehov, men både krafttettersspørrel og forbruksmønster er i konstant endring. Denne endringen får konsekvenser for nettet, som per dags dato er underdimensjonert for fremtidens etterspørrel. Nettutvikling er en sentral oppgave hos flere av landets nettselskaper. Nettkapasiteten må bygges ut i takt med behovet,

et behov vi som strømkunder og tjenesteytere kan være med å påvirke.

Omfattende utbygging av nettkapasitet resulterer i omfattende investeringskostnader, som igjen vil resultere i økt nettleie og økte kostnader for bruk av strøm. Gjennom forbrukertilpassing fremfor nettinvestering vil en potensielt kunne unngå denne økningen i pris.

#### *Transmisjonsnettet*

Statnett investerte hele 7774 millioner kroner i ny kapasitet i året 2017 ifølge deres oppdaterte investeringsplan for transmisjonsnettet utgitt 2018 [5]. Det samme dokumentet formidler en forventet investering på 30-40 milliarder kroner i den inneværende femårsperioden 2018-2022. Etter den inneværende femårsperioden øker usikkerheten rundt investeringene da disse avhenger av faktorer, som behov, som kan være vanskelig å forutse for fremtidig situasjon.

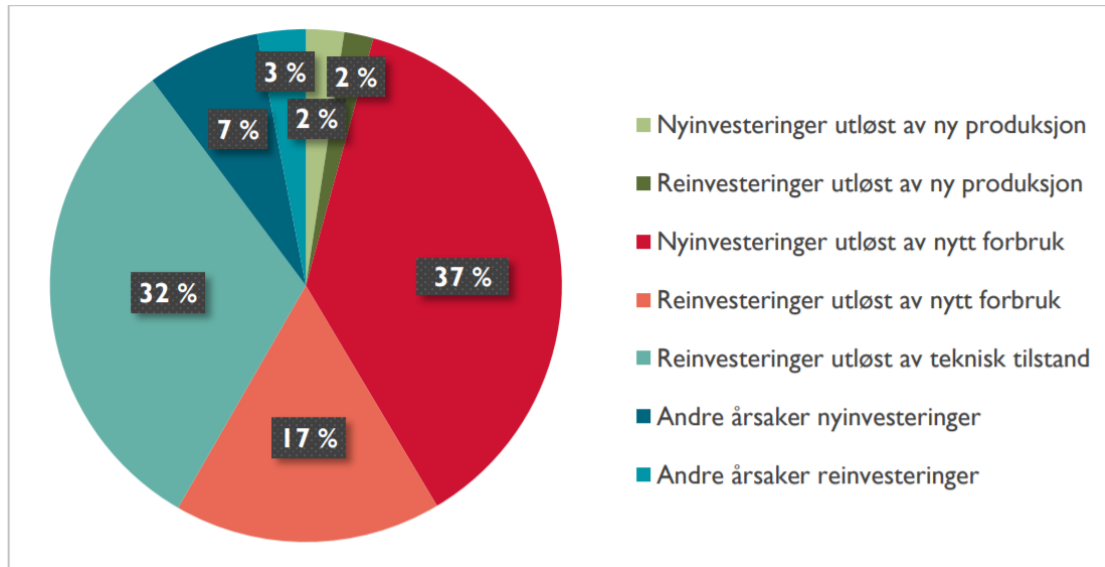
Tilrettelegging og integrering av fornybar energi har vært én av flere grunner til Statnett sine høye investeringskostnader i året 2018 [6]. Med fokus på kostnadene i kombinasjon med fremtidig strømpris påpekes det at kraftproduksjonen med kostnadsfrie kilder, som vann og vind, i fremtiden vil påvirke strømprisene i positiv retning. Hvordan den potensielle økningen fra nettinvesteringer og den minkende prisen for fornybar strøm vil utligne hverandre, er usikkert.

#### *Regionalnettet*

Et basisscenario basert på forventet utvikling anslår investeringer på 19,5 milliarder kroner knyttet til regionalnettet i tiårsperioden 2018-2027. Hovedårsaken til investeringskostnadene er behovet for oppgradering for å bedre anleggets tekniske tilstand, etterfulgt av forbruksøkning. [7]

#### *Distribusjonsnettet*

NVE sendte sommeren 2018 ut en spørreundersøkelse til alle norske nettselskaper som eier av distribusjonsnettet. Undersøkelsen ble besvart av nettselskaper ansvarlig for sammenlagt 74% av distribusjonsnettet i avstand og 80% av kundemassen. Basert på deltagelsen og besvarelsene, er det ved oppskalering gjort et estimat for totale investeringskostnader i nettet. Resultatet er en forventet investeringskostnad på 34 og 16 milliarder kroner, for henholdsvis høyspent og lavspent distribusjonsnett, i løpet av den inneværende tiårsperioden 2018-2027. [7]



Figur 2.3: Fordeling av årsaker til investering i distribusjonsnett. Kilde: NVE [7]

Hvordan investeringene fordeler seg basert på årsak er illustrert i figur 2.3. Figuren belyser behovet for nettinvestering som et resultat av nytt forbruk, med hele 54% av årsaksfordelingen, re- og nyinvestering sett i ett. Nytt forbruk impliserer økt effektforbruk. Når hver enkelt sluttbruker har sin maksimale effekt, sammenlignet med andre sluttbrukere knyttet til samme nett, har betydning for dimensjoneringen av nytt strømnnett. Samtidigheten til sluttbrukere koblet til ett og samme strømnnett kan ses ved *samtidighetsfaktoren*, kjent som *coincidence factor* på engelsk.

Nøyaktige prognoser for fremtidig lastprofil kan være vanskelig å utarbeide, men endringer i nettleie, smarte strømmålere og annen teknologi knyttet til forbrukerfleksibilitet er å forvente [6]. Med ny teknologi og smarte løsninger vil vi som sluttbrukere kunne påvirke den fremtidige lastprofilen. Den uønskede kostnadsendringen, grunnet prognosene for nettutvikling presentert i dette delkapittelet, kan være motivasjon for flere sluttbrukere til å bli aktive deltagere i kraftnettet.

### 2.1.3 Elektriske biler

Det har i de siste årene vært store endringer i personbilparken i Norge, og ser vi nærmere på figur 2.4 fra NVE er det ingen grunn til å tro at tilstanden vil stabilisere seg i nær fremtid. Diagrammet illustrerer en mulig utvikling etter forslaget fra transportetatene, presentert i Nasjonal transportplan 2018, om at all nysalg av personbiler, lette varebiler og bybusser skal være utslippsfrie innen 2026 [8].

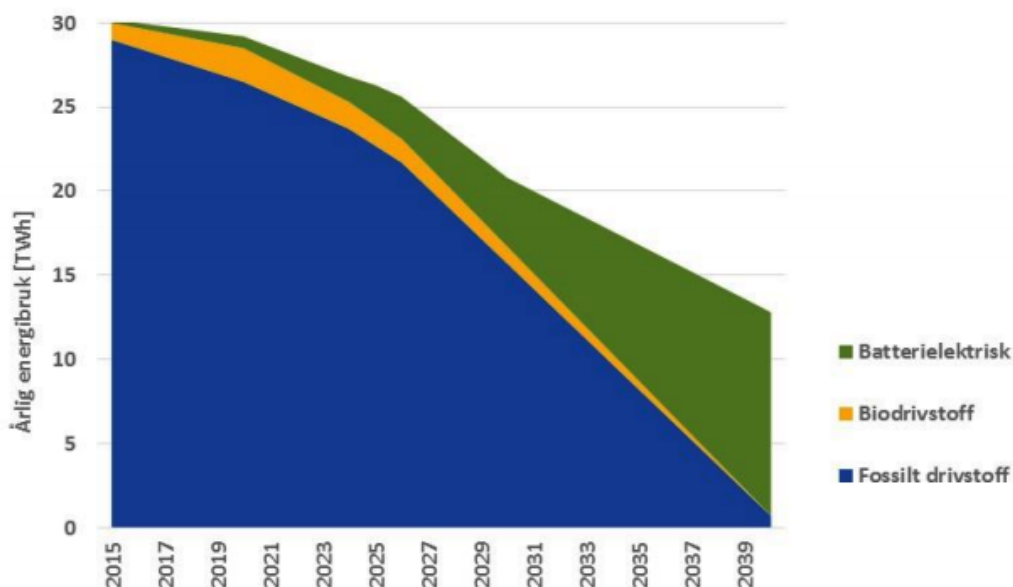
Norsk Elbilforening understreker at vi er i rute for å nå dette målet, sett i sammenheng med etterspørselen blant norske bilister [9].

Dette er et delmål på veien mot 1,5 millioner elbiler på norske veier innen 2031, som vil ha et

behov for strøm tilsvarende 3% av Norges totale strømforbruk[8].

Basert på denne lille endringen i strømforbruk konkluderer NVE med at dagens kraftsystem kan takle utviklingen, og den gjennomsnittlige belastningen ladingen av de elektriske kjøretøyene vil medføre. Problematikken oppstår om majoriteten av kjøretøyene skal lade på samme tid, da visse lokale strømnnett vil bli overbelastet. Forutsetningen for suksess ligger derfor i at ladingen fordeles utover døgnet. Igjen blir vi altså møtt med utfordringene vedrørende nettkapasiteten, og et behov for at sluttbruker ønsker å bidra til effektutjevning. Lykkes vi med dette, kan vi videre lene oss på følgende konklusjon fra NVE sin eksterne rapport vedrørende koordinert lading av elbil og dens gevinster [10]:

*Strømnettet er klar for elbilene.*



Figur 2.4: Illustrasjon av mulig utvikling i energibruk til personbiler og varebiler i Norge ved overgang til elbiler. Kilde: NVE [8]

Ifølge prognosene, vil nesten alle person- og varebiler på norske veier gå på elektrisitet innen 2040. Årsaken til nedgang i totalt årlig energibruk til person- og varebiler, til tross for økning i antall biler på norske veier, kommer av at de elektriske kjøretøyene er opp til tre ganger så energieffektive som bilene på fossilt brensel[8].

På dagens marked finner vi allerede avansert teknologi og styringssystemer som tillater fjernstyring av lading via app [2]. Dette betyr at kostnadene knyttet til styringen kan bli relativt lave. Fjernstyring via app gjør det enkelt for sluttbruker å svare til prissignaler, og på denne måten ta aktivt del i nettet.





### 3 Forslag om endring i nettleiestruktur

NVE foreslo i 2017 en ny nettleiestruktur for forbrukere knyttet til det lavspente distribusjonsnett. Tariffmodellen kalte de *abonnert effekt*. Nettselskapene var skeptiske til det nye forslaget, og tariffmodellen som skulle settes i kraft fra 1. januar 2020 var dermed ikke lengre aktuelt. Etter mange innspill på den foreslåtte modellen har det blitt utarbeidet et nytt høringsdokument. Dette ble publisert februar 2020 med høringsfrist 4. mai, utsatt til 25. mai. I dokumentet presenteres prinsipper med større handlingsrom for nettselskapene, til forskjell fra den tidligere konkrete tariffmodellen som ble foreslått.

Dette nye høringsdokumentet er levert av det som fra 1. november 2019 ble en uavhengig reguleringsmyndighet innenfor NVE, nemlig Reguleringsmyndighetene for energi, forkortet RME. RME har ansvar for å regulere nettselskapene, og for å sikre effektiv overføring av kraft, i tillegg til effektiv omforming og bruk av energi [11]. Forslaget om ny nettleie er et tiltak på veien mot nettopp dette. Som tydelig formidlet i høringsdokumentet, skal ny nettleiestruktur bidra til en effektiv drift, utnyttelse og utvikling av strømmettet [12].

Forslaget åpner for at hvert nettselskap skal kunne designe sin egen nettleie basert på prinsippene presentert i høringsdokumentet. Større grad av frihet i design av nettleie har den fordel at hvert enkelt nettselskap kan forme tariffene etter deres behov og formål. Eksempelvis vil en optimal fakturering for Elvia, ikke nødvendigvis være den beste for Lyse Elnett. Årlige inntektsrammer vil fortsatt begrense hvor mye nettselskapene kan ta betalt.

#### 3.1 Bakgrunn for forslag til endring

Ifølge høringsdokumentet er hele 90% av kostnadene i strømmettet knyttet til kapasiteten. Dette betyr kostnader ved investeringer, vedlikehold, tilsyn, feilretting og lignende. De 10 gjenværende prosentene knyttes til transport, som for nettselskapene er kostnader som resultat av nettap. Denne kostnadsfordelingen er ikke synlig gjennom dagens nettleie. De foreslåtte endringene har som hensikt å endre nettopp dette, og den nye nettleiestrukturen skal derfor i større grad reflektere kostnadsstrukturen i strømmettet. Høye kostnader for strømkunden på tidspunkter med liten ledig kapasitet skal motivere til å fordele energiforbruket jevnt over døgnet. [12]

Økt behov for nettutbygging fører til økte kostnader. Da nettet er 100% brukerfinansiert, gjennom nettleie og anleggsbidrag, vil dette medføre økt nettleie for strømkunden. Behovet for nettutvikling kommer av at dagens nett utfordres i timene med topplast, og så lenge det er mangel på incentiver for å redusere denne topplasten, er det ikke å forvente en endring her. I tillegg til kostnadsaspektet ved nettutvikling, er det ønskelig å minimere utbygging da det også medfører naturinngrep, og kan være svært tidkrevende. Det er først og fremst ønskelig med bedre utnyttelse av det eksisterende kraftnettet slik det står idag.

Idag faktureres kunden basert på mengden strøm for en gitt tid, gjerne en måned. Hvordan forbruket er fordelt utover døgnet er ikke hensyntatt. I praksis betyr dette at en kunde som unngår forbruk i topplattimer betaler like mye som en kunde av samme forbruk, men med

et høyt effektuttak under topplasttimene som bidrar til kapasitetsproblemet. Dette kan oppleves som lite rettferdig. Den nye nettstrukturen, i kombinasjon med tidsdifferensierte kostnader, har derfor som hensikt å bidra til en rimeligere og mer rettferdig fordeling av kostnadene kundene imellom. Differensierte energi- og effektledd er nærmere drøftet under kapittel 3.2.2.

## 3.2 Foreslått nettleiestruktur

### 3.2.1 Tariffmodellene

Informasjonen om de foreslåtte tariffmodellene som her vil bli presentert, er hentet fra høringsdokumentet.

#### Dagens nettariff

Dagens nettariff består av de to leddene illustrert nedenfor. Fastleddet [kr/år] er konstant og uavhengig av energiforbruket til den enkelte kunde. Energileddet [kr/kWh] varierer fra år til år, for forskjellige områder og kundekategori. Dette leddet avhenger av energiforbruket.

$$\text{Nettariff} = \text{Fastledd} + \text{Energiledd} \quad (1)$$

#### Målt effekt (døgnmaks)

Målt effekt baserer seg på kundens faktiske effektforbruk i timen med høyest last gjennom døgnet, også kalt døgnmaks. Av denne maksimale effekten vurderes hvor mye av nettkapasiteten kunden har benyttet seg av, og effektleddet blir et resultat av kostnadsfordelingene deretter [13]. Med andre ord vil effektleddet basere seg på kundens topplasttime i løpet av døgnet. Denne typen tariffing benyttes allerede idag for næringskunder, og kunder med et forventet årlig forbruk over 100 000 kWh [14].

Da effektleddet dekker deler av de faste kostnadene, vil fastleddet som en følge bli lavere enn i nettleiemodeller uten effektledd. Energileddet skal være lavt, og skal ifølge høringsdokumentet "gjenspeile endringen i nettets tapskostnader". [12]

$$\text{Nettariff} = \text{Fastledd} + \text{Energiledd} + \text{Effektledd} \quad (2)$$

Fordelen med hyppige avregningsperioder, og hyppig oppdatering av effektledd, er at kunden får tydeligere informasjon om sin egen topplast relativt kort tid etter denne har inntruffet, og kan på denne måten reagere raskere. Ved avregningsperiode på ett døgn, vil høyt forbruk et par timer kun legge grunnlaget for faktureringen dette ene døgnet.

### Abonnert effekt

En prismodell som abonnert effekt baserer seg på at kundene abonnerer på den mengden elektrisk energi de ønsker å kunne bruke på samme tid, i kWh/h. Modellen består av et fastledd og et energiledd, som illustrert i ligning 3. Kostnaden knyttet til effekten kunden ønsker å abonnere på er integrert i fastleddet. Valg av effektgrense kan baseres på kundenes individuelle historiske forbruk. [12]

Dersom effektforbruket er under abonnert effekt, skal energileddet være relativt lavt, men et tillegg vil forkomme dersom forbruket er høyere enn betalt for gjennom fastleddet. Dette tillegget skal sende signal til kunden om å begrense forbruket når behovet overskrider abonnert effekt, og kan i tillegg tidsdifferensieres for å gjøre kunden bevisst på hvilke perioder et overforbruk vil ha størst konsekvens.

$$\text{Nettariff} = \text{Fastledd} + \text{Energi ledd (inkl. tillegg ved overforbruk)} \quad (3)$$

### Sikringsdifferensiert nettleie

Til sammenligning med abonnert effekt vil også sikringsdifferensiert nettleie bestå av to ledd; fastledd og energiledd. Til forskjell fra abonnert effekt vil fastleddet differensieres på grunnlag av kundens sikringsstørrelse, framfor et selvvalgt abonnement. Energileddet vil være lavt, med mulighet for tidsdifferensiering, slik som i de to forannevnte modellene.

$$\text{Nettariff} = \text{Fastledd} + \text{Energi ledd} \quad (4)$$

Ved abonnert effekt baseres fastleddet på faktisk forbruk, med nytt faktureringsstrinn for hver hele kWh/h. For modellen presentert her vil trinnene være større, og det vil dermed kreve mer av kunden som ønsker lavere faktureringsgrunnlag. For kunder som ved effektparende tiltak kan nå et lavere sikringstrinn, kan det gi store økonomiske gevinster. Gevinstene vil på den andre siden være mindre dersom tiltakene ikke medfører en mulig reduksjon i sikringsstørrelsen som fastleddet baseres på. Det er her ment en reduksjon av fysisk sikringsstørrelse. Det påpekes i høringen at nettselskapene kan ved bruk av ny teknologi sette en virtuell sikringsstørrelse. Faktureringsstrinnene vil følgelig bli mindre og flere, og modellen vil ligne mer på nettleiemodellen abonnert effekt. [12]

#### 3.2.2 Differensierte energi- og effektledd

Det presiseres i høringsdokumentet at tariffene kan differensieres, men nettselskapene må sørge for at dette skjer under objektive og kontrollerbare forhold. Dette betyr eksempelvis at kunden ikke kan faktureres basert på hva strømmen benyttes til, men heller når på døgnet denne benyttes.

Differensiering mellom forskjellige kundegrupper er tillatt. Det medfører samtidig at alle kunder innenfor samme kundegruppe skal faktureres basert på like regler. [12]

Det foreslås at nettselskapene skal tilby tidsdifferensiert energiledd. Som nevnt skal energileddet dekke marginale tapskostnader, og vil derfor være et incentiv for å redusere dette tapet i strømmettet. Nettapet øker kvadratisk med lasten. Dette betyr at tapet øker langt mer enn belastningen i seg selv, og et tidsdifferensiert energiledd vil derfor bidra til å signalisere dette. Eksempelvis vil nettapet være langt større om vinteren enn om sommeren, da behovet for elektrisitet er høyere. Det vil dermed være hensiktsmessig med et høyere energiledd på denne tiden av året, nettopp for å reflektere kostnadsstrukturen i nettet.

Variasjoner i belastningen gjennom døgnet kan også være av en størrelsesorden som motiverer til tidsdifferensiering på døgnbasis. Prisvariasjoner som dette vil kunne skape økonomiske gevinster for kunder disponible for lastflytting. Differensiering på timesbasis, med hensyn til belastning, minner om de samme prinsippene som i den tidligere foreslåtte modellen *Time of Use (ToU)*, fra høringsdokumentet utgitt 2017.

I tariffmodeller med effektledd, skal dette leddet kvantumsdifferensieres. Dette betyr at det er en fast sum opp til første *effektrinn*, felles for alle kundegrupper. Satsene vil for de neste trinnene være lavere. Modeller med effektledd skal også tidsdifferensiere dette leddet. Effektleddet skal som nevnt reflektere belastningen i nettet, og det vil derfor settes krav til sesongdifferensiering, altså mellom sommer og vinter, som et minimum. Hvert enkelt nettselskap må selv vurdere om en mer nøyaktig tidsdifferensiering er ønskelig. [12]

### 3.2.3 Valg av oppløsning i beregning av midlere effekt

Det foreslås i høringsdokumentet at effektberegningene baseres på gjennomsnittlig timesverdier. Beregninger basert på gjennomsnitt er en mye brukt metode, men det påfølgende spørsmålet knyttet til effektberegninger er ved hvilken oppløsning dette bør gjøres. Skal gjennomsnittet beregnes hvert 15. minutt, eller hver time? Hyppig innsending av data vil i større grad gjenspeile det reelle momentane effektforbruket, sammenlignet med sjeldne innsendinger. Timesoppløsning kan bli for sjeldet for å fange opp den momentane belastningen, og kan dermed bli misvisende med hensyn til topplast. På den andre siden kan en midlere verdi med timesoppløsning komme kunden til fordel, da kortvarige effekttopper vil ha liten innvirkning på gjennomsnittet. Økonomisk besparelse for kunden er et viktig incentiv til å kjøpe styrings-systemet som et produkt, men en løsning til fordel for kunden som samtidig skaper problemer i nettet, bør unngås.

I samtale med NVE, se vedlegg B.1, påpekes det at timesmåling allerede er et krav, men at målerne muliggjør en oppløsning på 15 minutter dersom dette skulle være aktuelt i senere tid. Kraftmarkedene er basert på timesverdier, og en omlegging til 15 minutters oppløsning vil kreve en endring i utformingen av disse.

Det bør være klart hvilken oppløsning som vil bli benyttet før en algoritme for laststyring overføres til et fysisk system, nettopp for å vite hvorvidt systemet skal tillate korte avvik over effektgrensen.

### **3.3 Forutsetninger**

Et utvalg av forutsetninger for en vellykket omlegging er i dette kapittelet nærmere forklart.

#### **3.3.1 Kommunikasjon**

En av de viktigste forutsetningene er god kommunikasjon mellom nettselskap og kunde. For det første er forståelse for de nye effekttariffene viktig for kundeaksept. Utover forståelsen for tariffene, er det viktig at kunden får tilstrekkelig informasjon om, og konsekvensene av, eget forbruk. [12] På e-post utpeker Andreas Bjelland Eriksen fra NVE god kommunikasjon som muligens den viktigste forutsetningen, se vedlegg B.1. Derfor er det i høringsdokumentet inkludert forslag til endring i forskrift vedrørende informasjonsplikt. For mer detaljert informasjon om dette forslaget vises det til selve høringsdokumentet [12].

I samtale med Silje Elise Harsem fra Elvia AS forteller hun at også de ser viktigheten av en god kommunikasjonsstrategi for en vellykket utrulling. De skal utvikle en slik kommunikasjonsstrategi, med bistand fra kommunikasjonsbyrået Geelmuyden-Kiese. Harsem påpeker i samme e-post at dette arbeidet i tillegg kan bidra til å forbedre relasjonen mellom nettselskapet og kunden, se vedlegg B.2.

Knut Olav Bakkene fra Glitre Energi Nett AS påpeker i sin e-post at nettselskapene må gjøre sin del for god kommunikasjon, men at et samarbeid med organisasjoner som Elbilforeningen, NBBL, Nelfo og Huseierne vil medføre en større gjennomslagskraft. E-posten som ble sendt til Glitre Energi Nett AS, og responsen, er å finne under vedlegg B.3.

#### **3.3.2 Kvalifiserte anbefalinger**

Det nåværende forslaget fra RME er at hvert nettselskap skal få lov til å velge den nettleiemodellen som passer best for hvert enkelt selskap. Et av argumentene for dette er at én modell for et nettselskap ikke nødvendigvis er den beste for et annet. Samtidig oppstår det redsel om forvirringen dette kan medføre. Under Enovakonferansen 2020 ble det holdt en kort debatt angående endring av tariffmodell. Der forslår Kjetil Lund fra NVE at nettselskapet skal ha ansvar for at hver enkelt kunde har den nettleien de er best tjent med, som løsning for å unngå denne forvirringen. Tore Morten Wetterhus fra Glitre Energi Nett følger opp argumentet med at overgangstiden kan brukes til å bygge kompetanse. Innsamlet data kan brukes til avanserte analyser slik at anbefaling av nettleie til kunde ikke baseres på kjønn, men objektive resultater fra analysene.

Budskapet her er at kunde trenger kvalifiserte anbefalinger fra nettselskap eller annen aktør i valg vedrørende nettleien. Det bør for eksempel gis anbefaling på egnet effektgrense, og disse anbefalingene bør baseres på historisk data og erfaringer, analyser og prognoser for nær framtid.

### 3.3.3 Kommunikasjon knyttet til brannsikkerhet

Dersom de økonomiske incentivene er store nok vil laster flyttes i tid til fordel for effekttoppene. Dersom et nettselskap velger å differensiere energileddet med hensyn til topplasttimer, blir forbruker incentivert til å flytte forbruket utenfor disse, som kan risikere å være sent på døgnet. Hvis dette er tilfellet, er det likevel viktig å skille mellom hvilke laster som kan forskyves til sen kveld og natt, og hvilke som ikke egnes til dette.

I en NRK-artikkel fraråder Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) bruk av oppvaskmaskin, vaskemaskin og tørketrommel på natten. En eventuell brann om natten kan risikere å få utvikle seg og føre til store skader, større enn dersom forbrukerne var våken og/eller tilstede da brannen oppstod. I samme artikkel advarer derfor Brannvernforeningen myndighetene mot å gjøre strømmen billigere om natten.[15]

Brannsikkerheten må hensyntas. Informasjon vedrørende dette bør derfor gis parallelt med incentivene for lastflytting. Igjen er det viktig med en god informasjonsflyt, slik at forbruker kan bidra til å løse utfordringene i strømmettet, men på en trygg og sikker måte.

### 3.4 Holdninger til de foreslåtte modellene

Første høringsdokument vedrørende ny nettleiestruktur møtte mange innvendinger. Dette tidligere forslaget innebar bruk av én bestemt nettleiemodell, felles for alle nettselskaper og forbrukere. Forslaget ble trukket tilbake, og bearbeidet i håp om et større medhold. Hvorvidt majoriteten av nettselskaper og forbrukere er for eller imot den foreslåtte nettleiestrukturen, er vanskelig å kvantifisere. Konsekvensene av endringen er omfattende, og holdningene er derfor deretter.

Den 20. mai 2020 ble det arrangert et webinar i regi av Nelfo. Medarrangørene var flere, illustrert med logo under. Flere av arrangørene holdt innlegg og delte deres holdninger knyttet til ny nettleiestruktur.



Rolf Iver Mytting Hagemoen snakket på vegne av Norsk Varmepumpeforening, og ytret at en nettleiemodell bør være logisk og forståelig for forbruker, noe de foreslåtte nettleiemodellene ikke er. Norsk Varmepumpeforening slår et slag for én felles modell for hele landet, som hensyntar energiaspektet og egenproduksjon av strøm gjennom høyere energiledd enn foreslått i høringsdokumentet. Linda Öberg fra Huseierne legger også vekt på hvordan de foreslåtte modellene verken ivaretar forbrukerne eller klimaet. Modellenes kompleksitet er vanskelig å

forstå for forbruker, i tillegg til at nettselskapene vil ha forskjellige modeller, og overgangsperioden er lang. En gjennomsnittlig forbruker har ikke samme forhold til effekt i kW som energi i kWh, og når forbrukere tidligere har blitt fortalt å spare kWh, vil det være uforståelig med en nettleie med lavt energiledd som ikke reflekterer denne reduksjonen. Det lave energileddet i modellene og lønnsomheten av enøk-tiltak og egenproduksjon var også sentrale tema under innlegget til Audun R. Johnson fra Naturvernombudet. Organisasjonen støtter opp under argumentene mot et lavt energiledd, da energieffektiviseringstiltak og egenproduksjon ikke vil bli like lønnsomme som ved energibasert nettleie. Naturvernombudet mener denne lønnsomheten er viktig for å nå klimamål, og ønsker å unngå naturinngrep som nettutbygging.

Andreas Aamodt fra Nelfo presenterer i sitt innlegg utregninger basert på forbruksprofilen til 1000 husholdninger. Resultatet viser at en individuell forbruksreduksjon på 20% for samtlige husholdninger, fører til en minimal endring i det aggregerte forbruket. Effekttariffene bidrar med andre ord lite til bedre nettutnyttelse. Det Aamodt peker på som problem er NVE, som har utarbeidet tariffen som passer den gjennomsnittlige forbruksprofilen, som er lite representativ for noen av oss. I realiteten kan og vil forbruksprofilene ha store variasjoner fra kunde til kunde. Beregninger med ToU viser til en større aggregert gevinst, og Nelfo mener derfor det er dumt at ikke RME åpner for ToU som en hovedmodell.

Fra et nettselskaps synspunkt kan det tydes fra e-postutveksling, se vedlegg B.2 og B.3, at flere er positive til en ny nettleiestruktur som incentiv til forbruksendring. Glitre Energi Nett AS (GEN) mener på den andre siden at dette kan løses annerledes enn med de foreslåtte modellene, men heller som Aamodt og Nelfo foreslår, gjennom ToU. GEN har derfor satt i gang et pilotprosjekt som baserer seg på *ToU med gulrot*. Flere av innleggene under webinarer ytret på lik linje som GEN at en modell som lønner riktig adferd, er bedre enn å straffe gal. Med dette ønsker også GEN én felles modell for hele landet, og en kort overgangsordning.

OBOS er Norges største boligbyggelag. Deres representant under webinarer var elektroingeniør Nils H. Hagness fra OBOS Prosjekt. Han presenterte beregninger på nettleie i borettslag, en boliggruppe som ikke er representert i høringsdokumentet. Resultatet viste til en større økning i nettleie enn for landsgjennomsnittet. Fjernvarme, som var installert i borettslagene, representerte liten fleksibilitet. Sett fra borettslagenes side ble konklusjonen at nettleien ikke vil bidra til bedre utnyttelse av nettet, og fordelingen av kostnadene blir urettferdig.

Felles for flere av talerne er ønske om å ikke forhaste beslutning, men avvente til data og erfaringer fra pilotprosjekter kan bidra til å finne en god løsning på kapasitetsproblemet.





## 4 Automatisk laststyring som sluttbrukertiltak

### 4.1 Forbrukerfleksibilitet

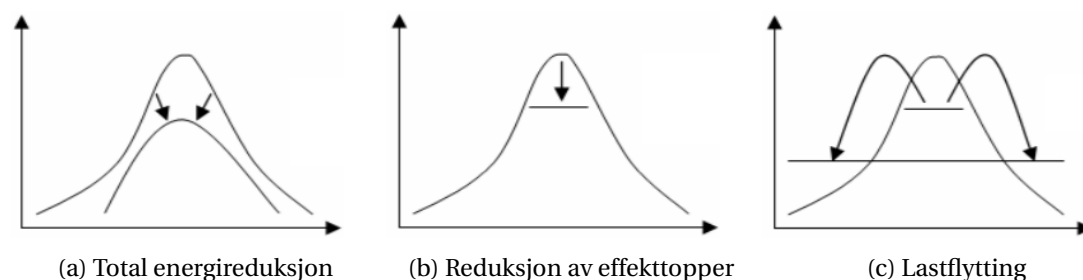
Det er viktig at det til enhver tid er momentan balanse mellom produksjon og forbruk. Den økte andelen væravhengig produksjon, som sol- og vindkraft, gjør det vanskeligere å opprettholde denne balansen. *Fleksibilitet* er derfor et nøkkelord i denne sammenheng.

Det er flere former for fleksibilitet knyttet til kraftnettet;

- **Fleksibilitet for forbruker** - Sluttbruker varierer egne laster ut ifra prissignaler, eller overgir styringen av lastene til nettselskapet.
- **Fleksibilitet fra produsent** - Kraftprodusent kan øke eller redusere produksjonen.
- **Fleksibilitet i nettet** - Det eksisterer tilstrekkelig kapasitet på nettet slik at endring i produksjon kan skje.
- **Energilagring** - Kan finne sted i alle deler av kraftkjeden, fra produsent til sluttbruker.

Alle de nevnte former for fleksibilitet er viktig, men i ånd av oppgaven vedørende sluttbrukertiltak, er det første punktet av høyest interesse. Vi kaller det *forbrukerfleksibilitet*, også kjent som *demand response* på engelsk. Konseptuelt handler det om å endre forbruksmønsteret til sluttbruker, fremfor å regulere generert effekt på produksjonssiden, for å blant annet enkle skape balanse mellom forbruk og produksjon av strøm. Tidligere har sluttbruker vært en passiv deltager i strømmettet. Gjennom smarthusteknologien som øker potensialet for forbrukerfleksibilitet kan sluttbruker bli en aktiv deltager i strømmettet.

Grovt sett kan vi dele forbrukerfleksibilitet inn i tre, illustrert i figur 4.1 [16].



Figur 4.1: Forbrukerfleksibilitet

Automatisk laststyring muliggjør både kategori *b* og *c* i ett og samme system. Varmelaster og lading av elbil er eksempler på laster som kan forskyves i tid. Et omfattende styringssystem vil også kunne tvinge utkobling av andre laster. Noen av disse vil være lite hensiktsmessig å skru på ved et senere tidspunkt, og styring av disse vil dermed underligge kategori *b*.

## 4.2 Formålet med automatisk laststyring

Hovedformålet med automatisk laststyring er å frigjøre kapasitet i nettet ved å forskyve og/eller koble ut enkeltlast. Ved en smart forvaltning av forbruket skal ikke dette gå på bekostning av kundens komfort og andre preferanser, nærmere utdypet i kapittel 4.3.5. En reduksjon av husholdningenes individuelle effekttopper skal bidra til å løse kapasitetsutfordringene knyttet til strømmettet. Sett i kombinasjon med innføringen av nye tariffmodeller skal et styringsystem også være lønnsomt for kunden selv.

På dagens marked er det å finne ny smarthusteknologi som muliggjør fleksibilitet på forbrukernivå. For mange sluttforbrukere vil det være fordelaktig med automatisert *demand response*, da folk selv gjerne ikke er proaktive nok til å utføre det som skal til for en betydelig endring i lastprofilen.

Uten at det vil bli satt i fokus videre, må det også påpekes at et automatisk laststyringsystem, med tilgang til sanntidsdata og kommunikasjon med nett- og strømselskap, bør i fremtiden kunne bidra til energibalansering i nettet.

## 4.3 Forutsetninger

### 4.3.1 Smart teknologi

Manuell styring av effekt- og energibruk vil ikke kreve store mengder ny teknologi, men hyppige variasjoner i nettet vil her være vanskelig å dra nytte av. Etter et forsøk på effektbasert nettleie i 2018/2019 konkluderer også Lyse Elnett med at "*Det er vanskelig å få til varig endring uten automatiske styringssystemer*" [17]. Automatisk styring av effektforbruket vil øke gevinsten av sanntidsinformasjon, og smarthusteknologi som tillater dette er allerede å finne på markedet. Dette markedet er fortsatt lite og ungt, men NVE anslår at denne typen teknologi vil ha en markedsandel på 20% innen 5 år. [18]

### 4.3.2 Automatisering

Generelt påpekes det i pensumboken *ENØK i bygninger* at å opprettholde et godt inneklima bør skje gjennom automatisk styrte prosesser i boligen [19]. Å minimere menneskelig involvering skal ifølge boken være energiøkonomisk. Alle tekniske installasjoner kan bli automatiserte. Likevel kan vi ikke stole blindt på automatikken, og kunnskap om forventet resultat blant forbrukerne er derfor viktig. Muligheten for manuell overstyring er også viktig. Det er fortsatt forbruker som er herre over husets laster.

Det er ønskelig at forbrukeren ikke skal legge merke til automatikken rundt seg, men at laststyringen skal skje så ubemerket som mulig.

### 4.3.3 Advanced Metering Infrastructure - AMS

NVE kaller det SOS - *system of systems*, og dette fordi den enkle boksen som i 2019 erstattet den gamle strømmåleren i alle norske hjem, skjuler en vid funksjonalitet med flere kombinerte systemer. Dette er typisk kommunikasjons- og målesystem, og tilhørende operativsystem, i tillegg til tjenestesystemer som sky-lagring, og innsamlings- og styringssystem [20].

Som sluttbruker vil disse systemene la seg merke gjennom automatisk strømvalesning, i tillegg til å gi beboer informasjon om det momentane effektforbruket og strømprisen i sanntid. Strømkunden vil på denne måten få større kontroll over eget forbruk, og innsikt i periodene som har potensiale for besparelser. Motivasjonen bak utrulling av AMS i norsk husholdninger er å effektivisere driften av nettet gjennom økt tilgang til data for både nettselskap og strømkunde, og på denne måten motivere kunden til å spare strøm. AMS bidrar på denne måten i tilretteleggingen av forbrukerfleksibilitet. [20]

Økt mengde og økt tilgang til forbrukerdata åpner for flere mulige utforminger av tariffene. Økt data knyttet til effektforbruk åpner nettopp for tariffing basert på effekt, og er derfor en forutsetning for implementering av den forslåtte nettleiestrukturen. Data som benyttes i faktureringen vil også være sentrale nøkkeltall i et automatisk styringssystem. Økt mengde, og hyppigere målt data tilgjengelig på forbrukersiden, muliggjør sentrale styringssystemer som kan reagere raskt til endringer, enten dette er endringer i nettet, eget forbruk eller i energi- og andre differensierte priser.

At AMS-målere er en forutsetning for implementering av effektbasert nettleie betyr i seg selv at disse målerne også er en forutsetning for et automatisk styringssystem. Effekttariffene er en forutsetning for et lønnsomt styringssystem.

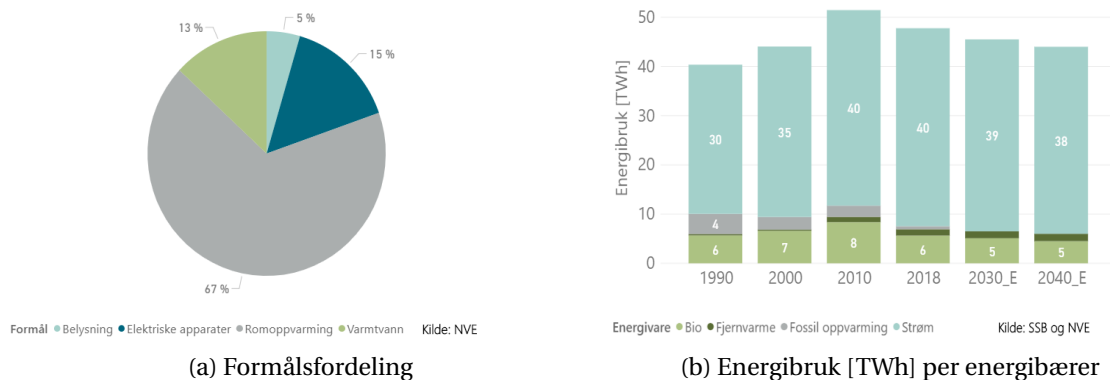
Sikom er et av mange selskaper som jobber med utvikling av smarthusteknologi, inkludert komponenter for automatisk styring, tilknyttet AMS-måleren. Alle smarte målere er utstyrt med en HAN-port, og det er gjennom denne porten sluttbruker får detaljert informasjon om strømforbruk, både momentant effektforbruk og totalt energiforbruk. Informasjonen gjennom HAN-porten er kun tilgjengelig for kunden selv, med mindre andre avtaler er gjort [21]. Dersom en kobler Sikom sin *Eco Energy Controller* til denne inngangen, vil informasjonen overføres til deres *Sikom Living*-system. Gjennom *Sikom Living* vil usynlige effekter kobles ut og inn automatisk basert på et ellers økende eller minkende forbruk, og på denne måten redusere forbrukstoppene [22]. Med usynlige effekter menes det som videre vil bli omtalt som *fleksible laster*, som ved utkobling i korte tidsrom ikke skal gå på bekostning av opplevd komfort, som for eksempel varmtvannstank og varmekabler [23]. Sikom sin *Eco Energy Controller* og *Sikom Living* er kun ett eksempel på systemer som utnytter måledataene for automatisk styring av laster, men et representativt eksempel for å illustrere hvor utviklingen er på vei i ønske om økt forbrukerfleksibilitet.

#### 4.3.4 Fleksible laster og energibærere i norske husholdninger

Figur 4.2a illustrerer formålsfordelingen av energi i norske husholdninger hentet fra NVE sin hjemmeside. Som figuren viser går hele 67% av energien til romoppvarming, mens 13% til varmtvann. Dette er en samlet prosentandel på 80% til oppvarmingsformål. Årsaken til de lave prosentandelene til belysning og elektriske apparater er at disse har blitt langt mer energieffektive med tiden - en utvikling som fortsetter. NVE påpeker at neste modell vil inkludere lading av elbil som et eget forbrukspunkt. [24]

I lys av figuren er det å forstå at varmelaster står for mesteparten av boligens energibruk, som forventet. Fordelen med dette er at disse lastene egner seg som fleksible, som takket være termisk treghet i bygninger kan la seg styre uten at dette trenger å gå på bekostning av opplevd komfort. Dette gjelder både oppvarming av vann, materiale og inneluft. I tillegg vil vi i norske husholdninger ofte finne alternative løsninger for oppvarming av romluft, slik at effekt- og strømforbruket til dette enkelt kan reduseres i høybelastningstimer. Vedfyring og fjernvarme er eksempler på slike alternative muligheter for oppvarming. [18]

Energieffektive varmelaster, som varmepumpen, eller alternative varmesystemer, som fjernvarme, blir stadig mer integrert i nye boliger. I hus med slike varmesystemer vil ikke et automatisk styringsystem nødvendigvis føre til like store økonomiske besparelser som ved elektrisk oppvarming. Dette er fordi redusert varmeeffekt ikke vil frigjøre kapasitet på nettet, og gjenspeiles i kundens faktura. Estimatene i figur 4.2b illustrerer på den andre siden at strøm som energivare i husholdningene vil holde seg stabil på landsbasis.



Figur 4.2: Energiforbruk i norske husholdninger, fordelt på formål og energibærere[24].

Dette betyr at gjennom den store andelen fleksible laster, sett i sammenheng med det estimerte strømforbruket de neste årene, er det identifisert et potensiale for lastflytting og effekt-reduksjon i norske husholdninger.

Fleksibiliteten hos store forbrukere vil kunne ha en positiv virkning på både frekvens og flaskehals i transmisjonsnettet. Det er mindre muligheter for å regulere generert effekt i distribusjonsnettet, og det er derfor viktig å muliggjøre fleksibilitet og tilpasning blant små forbrukere

som kan ha større påvirkning her. Med små forbrukere menes blant annet disse husholdningene, som ifølge Statnett alene vil ha et teoretisk potensiale for forbrukerfleksibilitet på 6,3 GW i 2030. [18]

#### 4.3.5 Inneklima

Dersom styring av varmelaster er et tiltak for å oppnå ønsket effektbruk, er det viktig at løsningen likevel sikrer et godt inneklima og termisk komfort. Vår oppfatning av *inneklima* avhenger av de 5 følgende miljøene kombinert; termisk, atmosfærisk, akustisk, aktinisk og mekanisk. Dersom vi i tillegg inkluderer estetisk miljø og det psykososiale miljøet snakker vi om *innemiljø*.

Det er et mangfold av krav og retningslinjer utviklet for å oppnå et godt inneklima i norske bygninger. TEK17 presenterer et minimum av krav en bygning må oppfylle for å regnes som lovlig i Norge. Denne oppgraderte versjonen av TEK10 gjelder alle nye bygg og større restaureringer etter 31. desember 2018. Byggforskserien presenterer løsninger og anbefalinger innen planlegging, byggdetaljer og byggeforvaltning, som alle oppfyller kravene i TEK, samt andre lover og forskrifter det henvises til. NS-EN ISO 7730 ble en standard i Norge i 1995, og denne standarden presenterer metoder for å estimere termisk komfort - et nyttig verktøy når en ønsker å tilfredsstille majoriteten av byggets brukere. Definisjonen av termisk komfort presenteres av SINTEF og NTNU i *ENØK i bygninger* [19] som "*.. en sinnstilstand der vi uttrykker full tilfredshet med de termiske omgivelser*". Termisk komfort avhenger av bekledningens isoleringsevne, aktivitetsnivå og termisk inneklima [25].

Oppfatningen av det termiske inneklimaet varierer fra person til person, og selv når majoriteten av en gruppe opplever termisk komfort, vil inneklimaet vike fra optimalen hos andre. For å evaluere termisk komfort for en tilfeldig sammensatt gruppe er det derfor innført to standardiserte indekser; PMV - *the predicted mean vote* og PPD - *percentage of dissatisfied* [25].

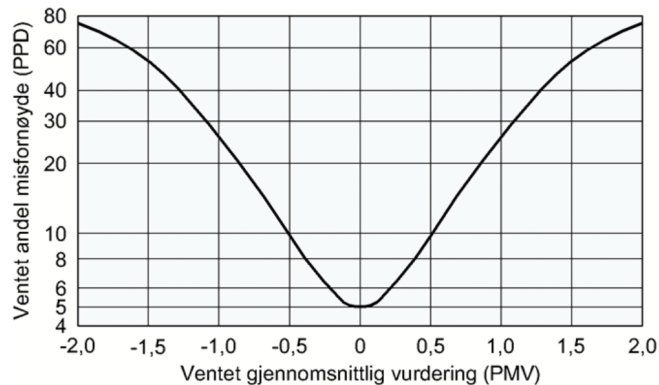
PMV baserer seg på en 7-trinns skala fra kaldt til hett, og angir hvordan gruppen føler seg i termisk henseende. Da de negative verdiene viser til et kaldere inneklima enn optimalt for gruppen, og positive verdier viser til et varmere inneklima enn optimalt, er det 0 som gjenstår - verdien som representerer termisk nøytralitet.

Tabell 4.1: PMV-indeks

Skala	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Vurdering	Kaldt	Kjølig	Lett Kjølig	Nøytral	Lett Hett	Varmt	Hett

PPD estimerer prosentandelen av et normalisert utvalg personer som vil være misfornøyde ved et gitt termisk inneklima, bekledning og aktivitet. PPD beregnes ut ifra PMV, og sammen-

hengen mellom de to indeksene er illustrert i diagrammet i figur 4.3.



Figur 4.3: PPD VS. PMV hentet fra Byggforskserien [25]

Diagrammet understreker at selv når den gjennomsnittlige oppfatningen av det termiske inneklimaet viser til termisk nøytralitet, vil det fortsatt være en prosentandel i gruppen som ikke føler likedan. Faktisk så vil vi til tross for en PMV lik 0 ha 5% som viser misnøye.

I en husholdning som benytter seg av HEM-algoritme vil beboere selv oppgi ønsket lufttemperatur. Dersom algoritmen blir nødt til å skru av én eller flere varmelaster, vil en reduksjon i temperatur være å forvente. Dersom temperaturendringen er for stor, vil ikke lengre det termiske inneklimaet oppfylle kravet til termisk komfort. Derfor er det viktig at varmelastene er høyt prioriterte laster.

Når lufttemperaturen skal måles i et rom anbefales det i *Byggforskserien* å måle i høydene 0,1, 0,6 og 1,1 m over gulvet der personer som regel befinner seg i sittende posisjon. I Smarthuset er disse termostaterne plassert i høyder mellom 1,04 og 1,13 m.

Ved rolig aktivitet som gjerne tar plass i kontorer og boliger, med tilhørende beklledning, er anbefalt operativ temperatur på  $22 \pm 2$  °C og  $25,5 \pm 1,5$  °C for henholdsvis vinter- og sommerhalvåret [25]. Disse temperaturene vil senere bli satt som sett-temperaturer i Smarthuset, med et litt strengere intervall på  $\pm 1$  °C som vil representere det tillatte avviket fra sett-temperaturen som fortsatt gir komfort. Parameterene knyttet til komfortbetingelsene diskuteres nærmere i kapittel 7, som tar for seg funksjonaliteten til, og utviklingen av algoritmen implementert i Smarthuset.

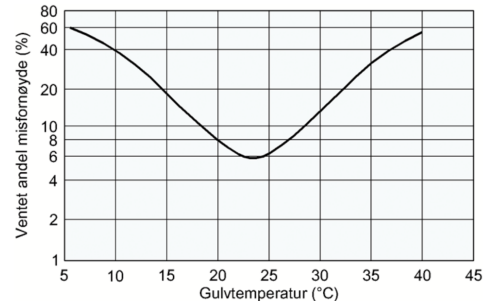
## Gulvvarme

Gulvtemperatur gir også utslag på opplevd termisk komfort. Lite ønskelig er det at føttene er for kalde eller for varme, som bidrar til en uønsket temperaturforskjell mellom hode og fot. Gulvtemperatur, gulvmateriale og fottøy er alle faktorer som påvirker varmeutvekslingen mellom føtter og gulv. Tabellen nedenfor viser komforttemperaturen uten fottøy for forskjellige gulvmaterialer. Det antas at beboere i Smarthuset bruker lett, innendørs fottøy, og komforttemperaturen på gulvet vil følgende være noe lavere enn verdiene gitt i tabellen. I tillegg

vil ikke selve gulvmaterialet være en dominerende faktor i opplevd komfort dersom vanlig innendørs fottøy er tatt i bruk. Figuren til høyre underbygger individualiteten ved opplevd komfort. Den påpeker også at det i boligen vil være fordelaktig å ha en gulvtemperatur mellom 19-26°C for å holde prosentandelen misfornøyde nede. [25]

Gulvbelegg	Komfortabelt temperaturintervall °C
Fliser, betong	27–30
Linoleum, PVC	25–29
Tre, kork	23–28
Tekstil, teppe	21–28

Figur 4.4: Komforttemperaturer for forskjellige gulvmaterialer for mennesker uten sko og sokker[25].



Figur 4.5: Prosent misfornøyde som funksjon av gulvtemperatur for mennesker med lett, innendørs fottøy[25].

Generelt vil det før bygging være fordelaktig å ta en grundig vurdering av gulvmaterialer. En konstruksjon av termisk tung masse vil fungere som et energireservoar, og riktig utnyttelse av denne kan bidra til å holde temperaturen stabil rundt ønsket verdi. Egenskapene til den termiske massen avhenger av varmekapasitet, konduktivitet og hvordan disse harmonerer med bruken av rommet [25]. I Smarthuset er det innredet med fliser over varmekabler på bad, mens det i entré, kjøkken/stue og på arbeidsrom er parkett over varmemefolie. Det er viktig at det tas hensyn til komfort når varmelastene som sørger for gulvvarme inkluderes i et automatisk laststyringsystem.

#### 4.3.6 Brukergrensesnitt

En av forutsetningene for at laststyring skal være attraktivt for forbruker, er at det som foregår på forbrukerplan både er forståelig og anvendelig. Det er derfor ønskelig at relevant informasjon formidles til forbruker gjennom et godt designet brukergrensesnitt, for eksempel i form av en app. For det første vil et brukergrensesnitt som dette åpne for et enkelt tilgjengelig varslingsystem. Dersom man skruer på et apparat som vil gå på bekostning av et annet, eller effektforbruket nærmer seg effektgrensen, kan et varslingsystem gjøre forbruker oppmerksom på dette. Et annet tilfelle der et varslingsystem som dette kan komme til nytte er dersom en last blir manuelt skrudd på, men systemet har registrert flere ganger tidligere et høyt effektforbruk rundt dette tidspunktet. Eksempelvis, dersom vaskemaskinen blir skrudd på rett før kombinasjonen av induksjonstopp, ovn, hurtigvarmer og elbillader bør varslingsystemet informere om når effekttoppen forventes å avta, basert på data fra tidligere. Systemet bør videre foreslå et nytt start- og sluttidspunkt for vaskemaskinen.

I tillegg til å fungere som et varslingsystem, vil man gjennom et brukergrensesnitt kunne dele informasjon med hensikt i å motivere til atferdsendring. Dette kan for eksempel være energi

spart i en gitt tidsperiode sammenlignet med en referanse, redusert effekt, redusert nettleie eller mengde CO<sub>2</sub> spart ved lokal energiproduksjon.

En videreutvikling fra et varslingsystem og en informasjonsplattform til et interaktivt program ville gitt forbruker muligheten til å gripe inn i kontrollsystemet, for å gjøre midlertidige eller permanente endringer. Det er viktig at forbruker har muligheten til manuell overstyring, enten via et brukergrensesnitt som dette eller gjennom andre løsninger.

#### **4.4 Effekttariff som incentiv og forutsetning**

Den foreslåtte endringen om ny nettleiestruktur er allerede dekket i kapittel 3. Det må likevel nevnes hvilken innvirkning effekttariffer vil ha på et automatisk styringssystem, og hvorfor tariffene både er en forutsetning og et incentiv for integrering av slike systemer.

Effekttariffene er et incentiv for å redusere forbruket i topplasttimer, som en løsning på kapasitetsproblemet. Samtidig er det tydelig at man ved automatisk forbrukstilpasning kan utnytte variasjonene i nettet i større grad enn ved manuell lastflytting. Automatikk som minimerer behovet for at forbruker griper inn, vil også føre til at forbruksendring ikke oppfattes som like anstrengende, sammenlignet med manuell forbrukstilpasning.

Samtidig som effekttariffene skal incentivere forbruker, vil lønnsomheten av et automatisk styringssystem avhengig av effekttariffene. Dette gjelder spesielt for laststyringssystemer som i denne besvarelsen; med hensikt i å redusere effektforbruket, uten garanti for energireduksjon. Et styringssystem som dette vil være avhengig av innføringen av effekttariff for å redusere kundens nettleie, og for å på denne måten gjøre seg lønnsom for kunden. Økonomisk besparelse er et viktig incentiv til å kjøpe styringssystemet som et produkt. Forholdet mellom energileddet og effektleddet i tariffmodellen vil også påvirke lønnsomheten.

#### **4.5 Utfordring vedrørende frekvens- og spenningskvalitet**

Frekvensen i det norske kraftnettet er den samme som i Sverige, Finland og deler av Danmark. Ett område i ubalanse vil derfor påvirke hele systemet. Kilden til redusert frekvenskvalitet er store og hyppige flytendringer i nettet, som følge av endring i produksjon/forbruk og i forbindelsene mellom landene, blant annet. [26]

I motsetning til frekvenskvaliteten, varierer spenningskvaliteten lokalt. Også denne påvirkes av endring i produksjon/forbruk, men omfanget avhenger av styrken på nettet. Overbelastning vil også være en kilde til redusert kvalitet [8].

Områder med svakt nett vil være mer utsatt for spenningsforstyrrelser enn områder med sterkere nett. Lastendringer fra større effektkrevende apparater, og hyppigheten av inn- og utkoblingen av disse, vil kunne påvirke spenningskvaliteten i svakere nett. Dette bør hensyntas i designet av laststyringsmodeller, men er ikke inkludert i algoritmen utviklet i denne besvarelsen.



Skjevspenning er en utfordring som følge av store 1-faselaster. Elbilladeren i norske husholdninger kan være en slik last, dersom det ikke tas i bruk 3-faselader. Å fordele 1-faselastene jevnt mellom fasene, eller å sørge for at de største lastene er 3-faselaster, bidrar til å forhindre skjevspenning. [8]

## 4.6 Fremtidige muligheter

### Fjernstyring og fjernutkobling

Utkobling av laster kan skje gjennom husholdningens integrerte styringssystem, men toveiskommunikasjonen i kraftnettet åpner også for fjernutkobling. Dette betyr at sluttbruker bidrar til fleksibilitet gjennom en avtale med nettselskapet eller kraftleverandør som tillater fjernutkobling av laster på kort varsel, dersom pris og belastning tilsier at dette er nødvendig. Det vil følge en økonomisk kompensasjon for at forbruker stiller seg villig til dette. På veien mot et mer effektivt kraftsystem, legger fjernutkobling også grunnlaget for en koordinert styring av lastene i et nabolag eller felles nettverk.

Gjennom regulerkraftopsjonsmarkedet (RKOM), opprettet av Statnett, kan man også stille seg disponibel til utkobling ved behov. Dette markedet er dog beregnet for sluttbrukere med større effektbehov enn den gjennomsnittlige husholdningen. Det nevnes likevel kort i en av Statnetts egne rapporter at mindre forbrukslaste fra husholdninger og boligsameier også forsøkes inkludert i dette markedet [27].

Fleksibilitetsmarked for alle kundesegmenter har de siste årene vært et sentralt tema. Kraftmarkedet bør utformes for å møte utfordringene knyttet til uregulerbar kraftproduksjon, og for å utnytte så mye som mulig av den potensielle fleksibiliteten skal også husholdninger få ta del i dette tenkte markedet. Det vil være behov for en aggregator som samler små aktører til større enhetlige porteføljer, som representerer mindre begrensninger og økt pålitelighet sammenlignet med de individuelle aktørene alene. Det er enda uavklart hvilken aktører i kraftnettet som bør ha denne aggregatorrollen. [28]

Tilgang til reserver fra balansemarkeder er også med på å sikre momentan balanse i kraftnettet, og er derfor spesielt viktig for å opprettholde en god frekvenskvalitet. [26]

### Vehicle-2-Home (V2H)

Idag er det i liten grad tilrettelagt for overføring av strøm fra og til elbilens batteri og strømmettet. NVE presenterer i sin artikkel, *Batterier i bygg kan få betydning for det norske kraftsystemet*, et scenario med 1 million private elbiler i 2030. De tilhørende batteriene kan utgjøre en teoretisk effektreserve på 100 GW, resulterende i 4-8 GW dersom sikringsstørrelser og andre begrensninger blir hensyntatt. Til tross for denne reduksjonen, vil disse fortsatt representere en betydelig effektreserve. [29]

Når teknologien legger til rette for det, kan strømkunden belaste batteriet i elbilen fremfor det eksterne kraftnettet. Det er dette vi kaller Vehicle-2-Home.



## 5 Utvikling av automatisk styringssystem

I et automatisk styringssystem må målere, aktuatorer og andre komponenter kommunisere for å handle. Algoritmer danner grunnlaget for digital kommunikasjon. Formålet med utvikling av algoritme for laststyring er at denne skal fungere som hjernen i det helautomatiserte intelligente styringssystemet.

Det er allerede utviklet en rekke algoritmer med formål om optimal laststyring. Med riktig kunnskap innen maskinlære og programmering, i tillegg til en dyp forståelse av kraftnettet og forbrukeratferd, vil disse kunne videreutvikles og forbedres.

### 5.1 Tidligere Arbeid

#### 5.1.1 Algoritme for laststyring - Tidligere arbeid fra IEEE

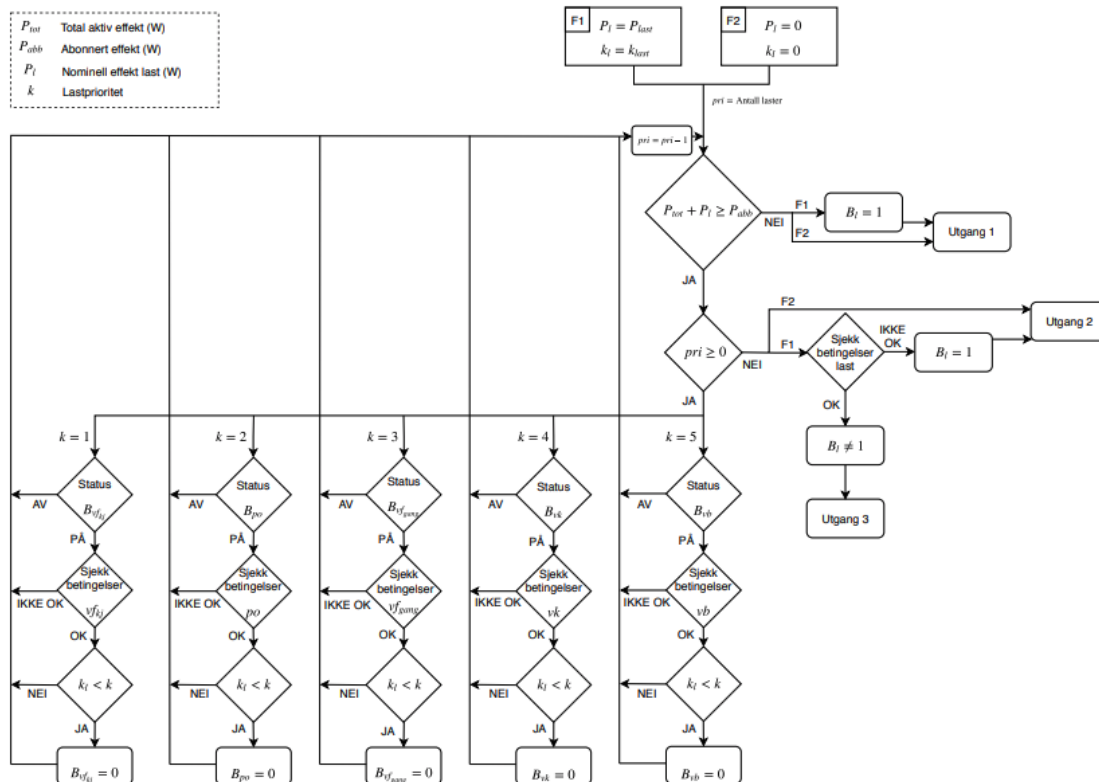
IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) ga i 2012 ut artikkelen *An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis* [30]. Denne artikkelen presenterer en smart HEM (*Home Energy Management*) algoritme med hensikt i å løse den samme problemstillingen som i denne masteroppgaven; nemlig å redusere effekttoppen i husholdningene gjennom forbrukerfleksibilitet.

Algoritmen i denne besvarelsen er inspirert av funksjonaliteten til algoritmen i IEEE sin artikkel, med utkobling av laster i henhold til en prioriteringsliste. Lastene inkludert i artikkelen er varmtvannsbereder, enhet for romkjøling, tørketrommel og lading av elbil. For mer detaljert beskrivelse av dette styringssystemet vises det til selve artikkelen [30].

#### 5.1.2 Algoritme for laststyring - Masteroppgave av Hanna Skulstad

I 2018 leverte Hanna Tysseland Skulstad sin masteroppgave *Utvikling av algoritmer for automatisk effektkontroll i bolig* [1]. Algoritmen for lastkontroll ble utviklet for og implementert i det samme smarthus-laboratoriet som denne masteroppgaven rettes mot. Varmelaster representerte alle de fleksible lastene i husholdningen da laboratoriet ikke var ferdig utstyrt med ytterligere laster. Idag er Smarthuset utstyrt med laster tilsvarende en fungerende leilighet, og denne besvarelsen er dermed en videreutvikling av Skulstad sin besvarelse fra 2018.

Figur 5.1 illustrerer flytskjema for effektkontrollalgoritmen hentet fra Skulstad sin masterbesvarelse.



Figur 5.1: Flytskjema for effektkontrollalgoritmen hentet fra Skulstad sin masterbesvarelse [1].

Resultatet av simuleringene til Skulstad var som forventet en reduksjon av effekttopper. Den største effekttoppen ble redusert med mellom 30-40%. Komforten ble opprettholdt så lenge ikke effektgrensen ble satt for lav. Nettleien ble redusert med mer enn 30% ved bruk av tariffmodellen *abonnert effekt*, mens utslagene var små ved *Time-of-use* og dagens energibaserte tariff.

Det er i ettertid publisert et oppdatert høringsdokument med forslag til nye tariffmodeller, som vil legge grunnlaget for de økonomiske beregningene i denne besvarelse.

## 5.2 Overordnet funksjonalitet

At strømkunder i nærmere fremtid vil bli fakturert for effektforbruk gir motivasjon til å redusere det momentane effektuttaket. Dette vil være hovedoppgaven til det automatiske styringssystemet som integreres i Smarthuset. Algoritmen skal med laststyring sørge for at husholdningens effektforbruk ikke overskrider en forhåndsbestemt effektgrense.

Effektgrensen vil være med å bestemme statusen på husets laster. Et effektuttak høyere enn den bestemte effektgrensen vil resultere i en statusendring på lasten med lavest prioritert som ved dette tidspunktet er PÅ. Denne statusendringen vil skje med flere laster dersom dette er nødvendig for å sikre et effektforbruk under den bestemte grensen.

Termostater som registrerer lavere temperatur enn innstilt, vil ønske å skru på tilhørende varmelast, men styringssystemet skal overstyre termostaten dersom det er nødvendig mht. effektforbruk. Da målet samtidig er å opprettholde opplevd komfort, vil noen laster i tillegg til en prioritering ha ytterligere betingelser som må hensyntas. Dette vil være betingelser knyttet til uakseptable lave temperaturer, der styringssystemet ikke lengre har tillatelse til å skru av varmelasten.

### **Hendelsesbasert algoritme**

Når man designer et styringssystem på den måten at en input-verdi iverksetter et tiltak, vil denne være det vi kaller hendelsesbasert. En typisk hendelse som vil sette i gang en last i huset er temperaturendring til under en gitt grense. Denne hendelsen vil detekteres av termostat, og algoritmen vil sørge for at en forhåndsbestemt varmelast skrur seg på. En annen hendelse er målt effektforbruk over forhåndsbestemt grense.

En handlingsbasert algoritme som kun tar høyde for uplanlagte hendelser vil alene ikke nødvendigvis være den beste løsningen i forskningen på optimal automatisk effektkontroll. Et styringssystem som tar høyde for både planlagte og uplanlagte hendelser vil på den andre siden åpne for mer effektive løsninger. Planlagte hendelser er nattsinking, og temperatursinking ved daglig fravær og langtidsfravær, som åpner for et større intervall av godkjente temperaturer. Senking av temperaturen bør likevel ikke overskride 4-5°C, da det kan bli vanskelig å oppnå ønsket temperatur når det trengs uten en altfor høy og bred effekttopp.

Optimalisert timeplan er også en måte å styre husholdningens fleksible laster på, men er ikke tatt i bruk eller utdypet her. Algoritmen som vil bli testet i Smarthuset vil altså være hendelsesbasert, med både planlagte og uplanlagte hendelser.

## **5.3 Laster i norsk husholdning**

Det er nå klart at strømkunde kan benytte informasjon fra strømmåleren til en smartere forvaltning av laster, til fordel for både nettet og egen regning. Som implisert i tidligere kapitler er det laster som er bedre egnet for styring enn andre. Lastene deles derfor opp i fleksible, semi-fleksible og ikke-fleksible, i henhold til hvorvidt de egner seg for laststyring.

### **5.3.1 Fleksible laster**

Fleksible laster bidrar til *forbrukerfleksibilitet*. Disse lastene kan forskyves i tid uten at det skal gå på bekostning av opplevd komfort og andre preferanser. Gjennom fleksible laster vil sluttbruker bidra som en aktiv deltager i strømmettet. Denne forbrukerfleksibiliteten krever videre at husholdningene som sluttbrukere har ønske om å foreta tilpasninger i eget strømforbruk. Denne motivasjonen vil blomstre gjennom riktige incentiver, og endring i nettleiestrukturen skal fungere som nettopp et slikt incentiv.

Som tidligere nevnt går hele 67% av energien i norske husholdninger til oppvarmingsformål. Det er egenskapene til mediet som varmes opp som bestemmer om en varmelast bør regnes

som fleksibel eller ikke. Medier med god varmekapasitet vil kunne fungere som et termisk lager. Vann har over 4 ganger så god varmekapasitet som luft. Dette underbygger fordelene av å bruke vann for oppmagasinert energi og som energibærer, som for eksempel i varmtvannsberedere og varmekabler. Med termisk lager følger en termisk treghet, som betyr at laster kan kobles fra i en begrenset periode uten store konsekvenser. Betong og tre har også høyere varmekapasitet enn luft, og varmekabler og folie vil derfor egne seg bedre som fleksible laster sammenlignet med for eksempel vifte- og konvektorovner.

Prognosene for elbilens utvikling i Norge er allerede presentert. Dersom ladbare hybrider inkluderes, var det i 2018 ingen andre land som hadde en så høy markedsandel av elektriske biler som Norge, med sine 46.4% [31]. Den 31. mars 2020 ble denne markedsandelen regnet til 69,7% [32]. Sett i sammenheng med den resulterende batterikapasiteten og muligheten for å flytte lading i tid, er det ingen tvil om at elbilen også fører med seg fleksibilitet.

### 5.3.2 Planleggbare laster (Semi-fleksible laster)

I definisjonen av *planleggbare laster* ligger laster som har et forutsett effekt- og energiforbruk per oppstart, slik at man med fordel vil kunne planlegge bruken av denne, med hensyn til forventet effektbruk ellers i husholdningen. Dette er laster som i noen tilfeller kan forskyves i tid, mens forbruker i andre tilfeller vil ha behov for disse med det samme. Vi kaller de derfor også for semi-fleksible laster.

Vaskemaskin, tørketrommel og oppvaskmaskin er typiske planleggbare laster. Tidligere har det ikke vært mulig å tidsinnstille hvitevarer, men utviklingen av det som betegnes som *smarte* apparater er i rask utvikling parallelt med andre *smarte* løsninger. Hvitevarer med mulighet for å velge start- eller sluttidspunkt, enten via app eller manuelt, er derfor ikke lenger en sjelden vare på markedet. Samtlige av de tre nevnte hvitevarene i Smarthuset har også denne funksjonen.

Nye elbiler og elbilladere åpner også for fjernstyring, og valg av start- og sluttidspunkt. Dette betyr at denne lasten med enkle tastetrykk kan legges til egnede tidspunkter med hensyn til nettbelastning. Likevel er det fordelaktig å inkludere denne i et automatisk system for større fleksibilitet. Av samme grunn vil også vaskemaskin og tørketrommelen inkluderes som fleksible laster under simuleringene i Smarthuset. Nærmere begrunnelse og spesifikasjoner for hver enkelt av disse lastene i Smarthuset, er utdypet i kapittel 6.

### 5.3.3 Ikke-fleksible laster

Ikke-fleksible laster er laster som en beboer vil ha behov for i det øyeblikket de settes på. Dette betyr en last som ikke ønskes forskjøvet i tid, da det vil resultere i misnøye hos forbruker. Eksempler på ikke-fleksible laster er TV, kaffetrakter og stekeovn.

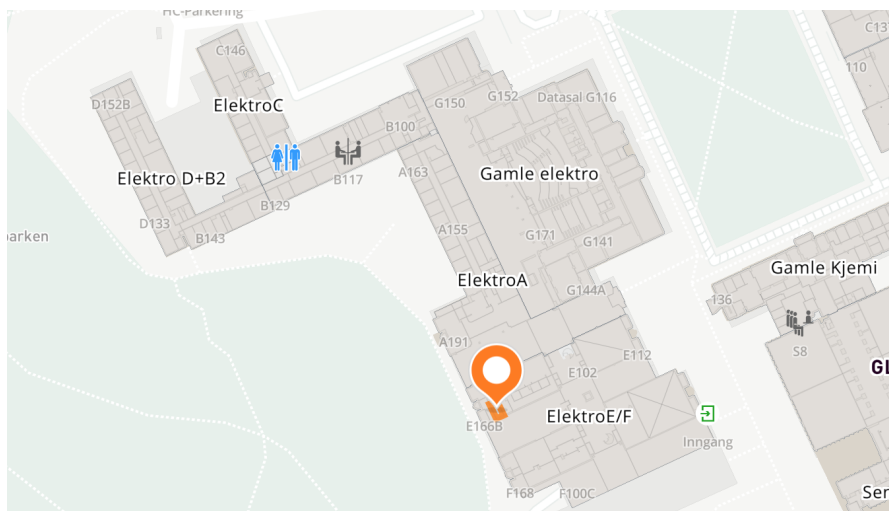
## 6 Om Smarthus-laboratoriet

Smarthuset egner seg for testing, demonstrering og verifisering av ny teknologi som kan bidra i utviklingen av smarte hus. Emulering av et smarthus i skala 1:1 er fordelaktig da utstyr kan hentes direkte fra markedet, og emulering og utførelse av tester fungerer som tilnærmet lik virkeligheten. I underetasjen finner vi Smartgrid-laboratoriet, som kan supplere Smarthuset med utstyr nødvendig for simulering og emulering av ønskede installasjoner.

Begrepet *smarthus* er svært bredt, og er enda ikke tilegnet en bestemt definisjon. Konseptuelt tar det for seg integreringen av nyere teknologi som bidrar til styring, regulering og overvåking av eiendommen. Denne automatiseringen skal blant annet bidra til reduserte operasjons/-driftskostnader, bedre komfort og høyere sikkerhet på eiendommen.

### 6.1 Bygningsstruktur

Smarthuset er plassert i E-blokken i 1.etasje på Elektrobygget, Gløshaugen Campus, som vist på kartet i figur 6.1.



Figur 6.1: Plassering av Smarthuset på Elektrobygget, Gløshaugen Campus



Leiligheten er bygget i en eksisterende bygning, og det resulterende vegg- og vindusarealet mot kald uteluft er derfor relativt lite. Det er kun ett vindu som grenser direkte til uteluften, og det er plassert over vask og oppvaskmaskin på kjøkkenet. Hele fasaden mot nord-vest, langs stue/kjøkken og soverom, har store vindusarealer som vist på plantegningen, men disse er vendt ut mot Glassgården. Det samme gjelder de mindre vindusarealene på motsatt side av leiligheten. Glassgården er et atrium med tak og store veggarealer av vinduer. Temperaturen her kan av denne grunn raskt bli lavere enn optimal innnetemperatur ved kalde utetemperaturer, men likevel ikke antas å ha samme kjølede effekt på leiligheten som kald uteluft.

Det er installert to varmepumper i Smarthuset, som kan både varme opp og kjøle ned leiligheten etter behov. Det lille vindusarealet mot kald uteluft begrenser påvirkningen av utetemperaturen på innnetemperaturen. Behovet for varmelaster vil derfor være redusert. For en studie som tar for seg bruk av varmelaster, vil kjølefunksjonen på varmepumpene kunne bidra til å etterligne en større påvirkning av kald uteluft på innnetemperatur en kald vinterdag. Dette har også vært tilfellet under denne besvarelsen. Etterligningen av varmetap og vintertemperaturer i Smarthuset er derfor nærmere forklart under kapittel 8.1.

Som illustrert på plantegningen er badet utstyrt med toalett, servant, dusj, vaskemaskin og tørketrommel. Varmtvannsberederen er også å finne på badet. Kjøkkenet er utstyrt med laster tilsvarende et tradisjonelt kjøkken, og det samme gjelder stue og arbeidsrom/soverom. I ønske om et *smart* hjem, er leiligheten utstyrt med de mest moderne laster på markedet, som derfor kan vike noe fra den tradisjonelle husholdningen. Eksempelvis er toalettet et såkalt



dusjtoalett, utstyrt med spyle og tørkefunksjon. Med denne vil papirforbruket gå ned, men effektbehovet øke. Kjøleskapet har god plass til matoppbevaring i både fryser og kjølerom, i tillegg til at skapet er utstyrt med HD-display, integrert kamera og WiFi-tilkobling. Skjermen fungerer som et nettbrett med applikasjoner både knyttet til kjøleskapet og ikke.

## 6.2 Strømforsyning

Smarthuset kan forsynes enten via 400V TN-nett eller 230V IT-nett. Majoriteten av det lavspente distribusjonsnett i Norge idag er IT-nett, mens det i de fleste land i Europa er TN-system som dominerer. Utvidelsen av IT-nettet fortsetter, men når distribusjonsnett i Norge nå bygges ut, er dette 230/400V TN-systemet valgt i større grad enn tidligere.

Det er TN-systemet som er benyttet under simuleringene i denne besvarelsen, med forsyning via den ordinære bygningsforsyningen. Som nevnt innledningsvis kan Smarthuset også forsynes via SmartGrid-laboratoriet i underetasjen. Her kan parametere endres på, slik at forbruket kan ses i sammenheng med et sterkt eller svakt nett, eller ved elektrisk støy. Dette er ikke utnyttet under denne besvarelsen, men er nyttig for videre studier vedrørende smarte nett.

## 6.3 Styringssystemet

Kommunikasjon og samhandling mellom komponenter i en bolig krever implementering av et styringssystem. På dagens marked er det en rekke forskjellige styringssystemer å velge mellom. KNX er et av de mest omfattende styringssystemene på markedet, og det er dette som er tatt i bruk i Smarthuset.

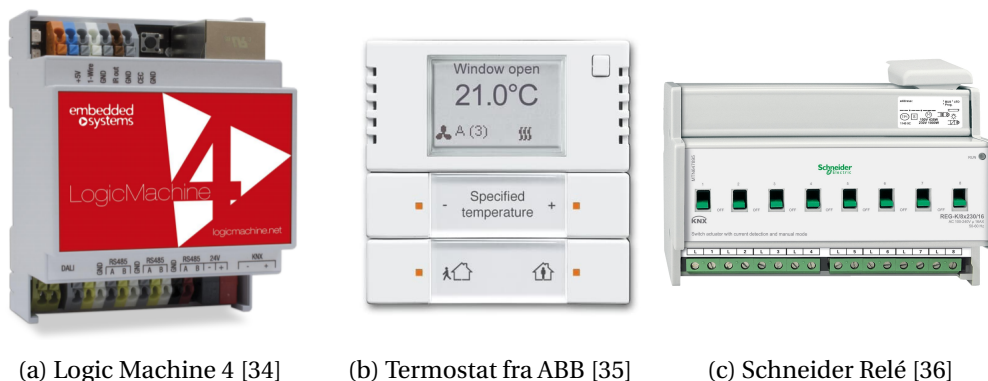
Det er mange fordeler knyttet til KNX som et styringssystem. De mange bruksområder muliggjør et svært omfattende styrings- og kontrollsystem av byggets laster, med lysstyring, solskjerming, styring av varme, kjøling og ventilasjon, styring av effekt, alarmer osv. Videre er KNX interoperatibelt med produkter fra flere produsenter, som Schneider Electric, ABB, Siemens og Gira.

For å muliggjøre kommunikasjon mellom komponenter er det nødvendig med et sett felles kommunikasjonsregler, kalt protokoller. Komponentene i Smarthuset kommuniserer hovedsakelig via KNX-protokollen, men er også kompatible med andre standarder. LM4 er eksempelvis også kompatibel med blant annet Modbus, DALI og 1-Wire. At KNX-systemet kan kobles opp mot andre systemer er til stor fordel da belysningen i Smarthuset er knyttet til DALI-lysstyring. [33]

KNX-systemet kommuniserer over en databuss. I Smarthuset idag er det foreløpig kun én buss-linje i bruk. Når det i tiden fremover vil integreres flere komponenter i styrings- og kontrollsystemet til Smarthuset, må den utvidede linjekapasiteten utnyttes. KNX er et desentralisert system hvor hver komponent har sin intelligens. Dersom én del skulle slutte å fungere, vil fortsatt resten av systemet virke. Selve tilkoblingen på buss-linjen er en universell montasjedel som ved parametrisering i egnet programvare tildeles en funksjon. Parametriseringen

av busstilkoblingene i Smarthuset utføres med prosjekterings- og programmeringsverktøyet ETS, administrert av KNX Association. Her tildeles komponenten først en unik fysisk adresse, som en slags ID, som muliggjør både kommunikasjon og programmering av denne. Videre vil man i ETS gi komponenten en logisk gruppeadresse av følgende struktur; hovedgruppe/- mellomgruppe/undergruppe. Gruppene kan man definere ut ifra hva en selv syntes er en god løsning. I Smarthuset vil hovedgruppen hovedsakelig vise til den fysiske plasseringen av komponenten, mellomgruppen representerer komponenttype/last, mens undergruppen tallfester selve funksjonen. Eksempelvis vil gruppeadresse 0/2/2 representere en komponent i stuen (0), som omhandler varme (2), med temperaturmåling (2) som funksjon. Det må samtidig nevnes at noen gruppeadresser i Smarthuset viker fra denne inndelingen.

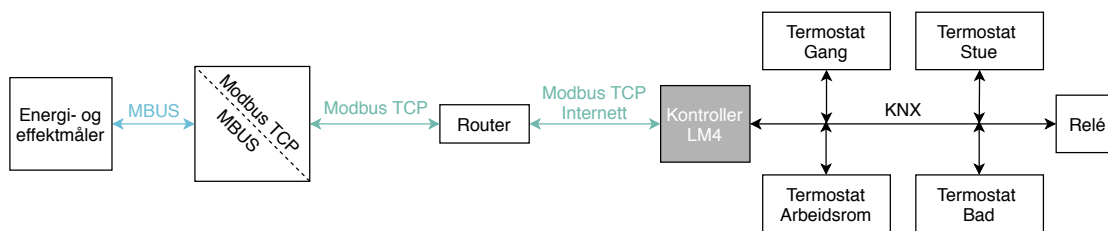
Til tross for at KNX er et desentralisert system, vil vi ha et sentralisert styringssystem, med *Logic Machine 4* som styringssystemet sentralenhet. Komponentene er avbildet i figur 6.3a, og vil i en bolig ha plass i sikringskapet. Via denne skal energimåler og sensorer overvåkes, og laster styres. Implementeringen av styringssystemet i LM4s nettbaserte brukergrensesnitt vil bli nærmere forklart i tilknytning til den utarbeidede algoritmen i kapittel 7.



Figur 6.3: Et utvalg komponenter i Smarthuset

Rent fysisk er energimåleren koblet til LM4 via en gateway og en router, ved hjelp av ethernet-kabler og ledere. Gatewayen er nødvendig da måleren kommuniserer over protokollen Mbus, en protokoll LM4 ikke er kompatibel med. Verdiene som Logic Machine så mottar fra måleren via gatewayen kommuniseres over Modbus. For å hente ut ønskede verdier fra overført data opprettes det en .json-profil. En .json-profil er en kode som spesifiserer hva som skal leses av informasjonen som blir mottatt fra måleren. For mer informasjon om kommunikasjon med LM4 over Modbus henvises det til gatewayens og kontrollerens egne brukermanualer [34] [37]. Strukturen i systemet, og hvilke protokoller benyttet mellom de forskjellige komponentene er illustrert i figur 6.4.

Termostaterne for lufttemperatur, figur 6.3b, er fysisk koblet til buss-linjen via buss-tilkoblere. I LM4 og releet er denne buss-tilkobleren integrert i selve komponenten. Figur 6.3c viser rele-modulen som styrer alle de fleksible lastene, med unntak av varmemefolie i stue og arbeidsrom, som styres via egne releer. På markedet finner man også komponenter som kan integreres i styringssystemet via trådløst internett, men det er foreløpig ingen av disse i Smarthuset.



Figur 6.4: Struktur og kommunikasjon i styringssystemet.

## 6.4 Laster i Smarthuset

### 6.4.1 Fleksible laster

Fleksible laster kan altså bidra til å balansere energien i nettet og redusere det momentane forbruket, for en bedre utnyttelse av det eksisterende nettet. I Smarthuset vil fleksible laster bidra til det vi betegner som effekteffektivisering. Effekteffektivisering innebærer som beskrevet i en av Nelfo sine rapporter; "*å optimalisere forholdet mellom effektforbruk og verdiskapning*" [38].

Tabell 6.1 gir en oversikt over de fleksible lastene i Smarthuset, deres tilhørende effektforbruk og valgt prioritering.

Tabell 6.1: Fleksible laster i Smarthus-laboratoriet

Last	Nominell effekt [W]	Prioritering
Elbil	3000	1
Varmefolie Stue	1450	2
Varmefolie Gang	800	3
Varmekabler Bad	900	4
Varmefolie Arbeidsrom	780	5
Varmtvannsbereder	3000	6
Vaskemaskin	500	7
Tørketrommel	500	8

## Varmtvannsbereder

Varmtvannsberederen er som illustrert i figur 6.2 installert på badet, og er av typen 3000W OSO Saga bereder. Den har et volum på 300L, som etter blanding med kjøligere vann vil gi 539L av 40°C. Kapasiteten er beregnet for 5,5 personer, og en økning på 65°C i berederen vil ifølge produsent ta 7,2 timer.

## Varmekabler

Varmekabler er installert under flisene på baderommet. Ønsket temperatur styres manuelt, og termostat med gulvføler regulerer temperaturen deretter.

## Varmefolie

Varmefolie er lagt under parkett i gangen, på kjøkken/stue og arbeidsrom. Varmefolien reguleres etter romtemperaturen. For at gulvtemperaturen ikke skal overstige 27°C som anbefalt, leveres folien med temperatursperre [1]. Varmefolien har et effektforbruk på 60 W/m<sup>2</sup>.

## Elbil

Det er spesielt to valg som må tas når lading av elbil skal inkluderes i målinger som i denne besvarelsen. Det første er ladeeffekt, og det andre er ladestrategi.

Lading i vanlig stikkontakt er antagelig begrenset til 8 eller 10 ampere. Dersom det installeres en ladestasjon i hjemmet, vil denne kunne øke ladestrømmen. I Smarthuset har vi tilgang til et spenningsnivå på 400 V dersom ladestasjonen installeres som en 3-faselast, eller 230 V dersom den installeres som en 1-faselast. De resulterende ladeeffektene er produktet av strøm og valgt spenning, multiplisert med kvadratroten av 3 dersom lasten installeres som 3-fase. Dette betyr i praksis at det er få begrensninger på hvilken ladeeffekt som kan velges her.

Det er foreløpig ikke installert en ladestasjon knyttet til Smarthusets strømforsyning, og en alternativ løsning har derfor måtte tas i bruk. Løsningen er en emulering av ladingen, ved bruk av en varmevifte på 3 kW. Denne vil trekke strøm fra Smarthusets strømforsyning, men er plassert i glassgården slik at denne ikke forstyrrer temperaturene inne i leiligheten.

Som ladestrategi er det hovedsakelig valgt en daglig lading på 2 timer, på ettermiddagen når forbruker er hjemme fra jobb. 2 timer av 3 kW tilsvarer 6 kWh dersom lasten får stå på uforstyrret. Nissan LEAF er i antall den mest kjørte elektriske personbilen på norske veier per 31. mars 2018, etterfulgt av Volkswagen e-Golf og Tesla Model S [39]. Flere av Nissan LEAF modellene oppgir et energiforbruk på 1,5 kWh/mil [40]. Basert på dette vil 2 timer daglig lading tilsvare en kjørelengde på 40 km - en daglig kjørelengde som kan antas fornuftig. Valgt ladeeffekt og ladetid antas dermed å være et representativt valg for emulering av elbil i Smarthuset.

En rapport av Sintef Energi tar for seg konsekvensene av en økt elbilandel, *demand response* og fleksibilitet ved lading [39]. Denne rapporten presenterer også tre resultater som underbygger hvorfor valgene for Smarthusets elbilladning er representative. For det første viste resultatene at hele 70% av eneboligene og 33% av kundene i borettslag som var med i undersøkelsen lader hjemme daglig. Videre kom det frem at hele 63,4% lader via vanlig stikkontakt

(typisk 10 A), mens 18,9% har en ladestasjon på 16 A. En slik 16 A ladestasjon tilsvarer en ladeeffekt på 3,68 kW ved 230 V spenning. Da kundene ble spurt ved hvilket tidspunkt de vanligvis lader hjemme, viste resultatene til størst andel lading på ettermiddagen og om natten. 56,5% sa seg villig til å utsette ladingen fra ettermiddag til natt, til tross for at dette ville medføre en 20% reduksjon i kjørelengde den etterfølgende dagen.

Ladeprofilen til Smarthusets "elbil" vil underligge gruppen som Sintef i den nevnte rapporten kaller "*Instant on/off*", og kjennetegnes av en stabil lading på størrelse med den tilgjengelige ladekapasiteten[39]. Dette betyr i praksis at batteriet vil lade på full effekt fra innkobling til fullt oppladet batteri, eller til en eventuell frakobling. Det presiseres i samme rapport at nyere biler lader jevnere, sammenlignet med de eldste elbilene på markedet.

Nissan LEAF har en ladekapasitet på 6,6 kW. Dette betyr at en ladestrøm på 16 A i kombinasjon med 400 V spenning resulterer i en makseffekt på 11 kW - en kapasitet langt større enn bilen er laget for. Ladingen vil altså ikke skje raskere. Samtidig ser vi at Tesla-modellene har høyere ladekapasitet, og 11 kW vil være et godt valg for flere av disse modellene. Tesla Model S har ifølge nettsiden EVBOX [41] en batterikapasitet på 75 kWh og en standard rekkevidde på 370 km, som som vanlig avhenger av fart, kjøremåte og værforhold. Ifølge denne nettsiden vil det ta 6 timer og 45 minutter å lade opp batteriet ved bruk av 16 A og 400 V. Dette betyr at behovet for høyere ladeeffekt over lengre tid ikke er å utelukke i andre boliger enn Smarthuset. Smart valg av ladeeffekt i en husholdning med hensyn til effekttariffer er nærmere diskutert under diskusjonskapittelet, kapittel 10.3.

### **Vaskemaskin**

Vaskemaskinen i Smarthuset er av typen Samsung QDrive Ecobubble. Med sin høye vaskeytelse og energieffektivitet tilhører denne vaskemaskinen energiklasse A+++ . Med hensikt i å sammenligne resultater er det under alle simuleringene kjørt samme vaskeprogram, nemlig 40°C bomull. Estimert kjøretid på dette programmet er 1 time og 6 minutter, med et energiforbruk på 0,51 kWh. Dette gir et gjennomsnittlig effektforbruk på ca. 500 W. Effektførløpet til en vaskemaskin vil variere i løpet av programmet, da det antas at oppvarming av vann vil være mer effektkrevende enn sentrifuge.

For å kunne inkludere vaskemaskinen som fleksibel last, er det i forkant av simuleringene testet hvordan denne responderer til avbrudd og gjenkobling. Ved gjenkobling vil programmet fortsette å kjøre fra der det ble avbrutt.

### **Tørketrommel**

Tørketrommelen er av typen Samsung DV6800 Heat Pump Trumble dryer, og slik som vaskemaskinen har også dette produktet energimerke A+++ . Basert på energiforbruk og tidsbruk for de forskjellige programmene oppgitt i brukermanualen, er det å anta et gjennomsnittlig effektforbruk på ca. 500W. Samme program er valgt for hver simulering.

Ved gjenkobling etter avbrudd vil ikke programmet starte opp igjen av seg selv, slik som for vaskemaskinen. Forbruker må selv skru på programmet på nytt.



Figur 6.5: Vaskemaskin og tørketrommel fra Samsung. Bilde hentet fra deres egen hjemmeside.

#### 6.4.2 Planleggbare laster (Semi-fleksible laster)

Det er kun én last i Smarthuset som regnes som semi-fleksibel, og det er oppvaskmaskinen. Det vil ikke være ønskelig å avbryte denne lasten mens den kjører. Det gis derfor ikke mulighet for dette, ved at denne ikke inkluderes i kategorien fleksibel. Da denne semi-fleksible lasten ikke er benyttet under målingene, vil den ikke utdypes mer her.

#### 6.4.3 Ikke-fleksible laster

De ikke-fleksible lastene i Smarthuset er elektriske apparater på kjøkken og bad valgt med hensikt i å gjenspeile et typisk norsk hjem, med utstyr nødvendig i en vanlig hverdag. I tabell 6.2 er de ikke-fleksible lastene listet opp, med tilhørende nominell effekt.

Belysning går under kategorien som ikke-fleksibel last. I teorien vil en kunne implementere en energieffektiv styring av belysningen gjennom bevegelsessensorer og dagslyssensorer i forskjellige soner av bygget, men dette er foreløpig ikke implementert i Smarthuset. Utviklingen av LED-teknologi har gått raskt, og på dagens marked finner vi LED med svært god ytelse og lang levetid til konkurransedyktig pris. Samtlige lyskilder i Smarthuset er LED, med unntak av én. Med 90% energibesparelse sammenlignet med glødepærer [42], er ikke lengre belysningen en betydelig faktor i effektberegningene sammenlignet med oppvarming og elbillading, og er derfor ikke satt i fokus videre i oppgaven.

Tabell 6.2: Ikke-fleksible laster i Smarthus-laboratoriet

Last	Nominell effekt [W]
Ovn (Konveksjon)	1800
Induksjonstopp 1 (Baksone)	2200
Induksjonstopp 2 (Frontsone)	1200
Kaffetrakter	1840 (50)
Vannkoker	1800

Merk at det i tabellen er oppgitt to effekter for kaffetrakteren. Dette er fordi den i trakteperioden, på ca. 4 minutter, vil bruke en effekt på 1840 W, mens den etter traktetiden vil holde kaffen varm på varmeplaten. Effektforbruket til varmeplaten alene er kun 50 W.





## 7 Algoritme for automatisk laststyring i Smarthuset

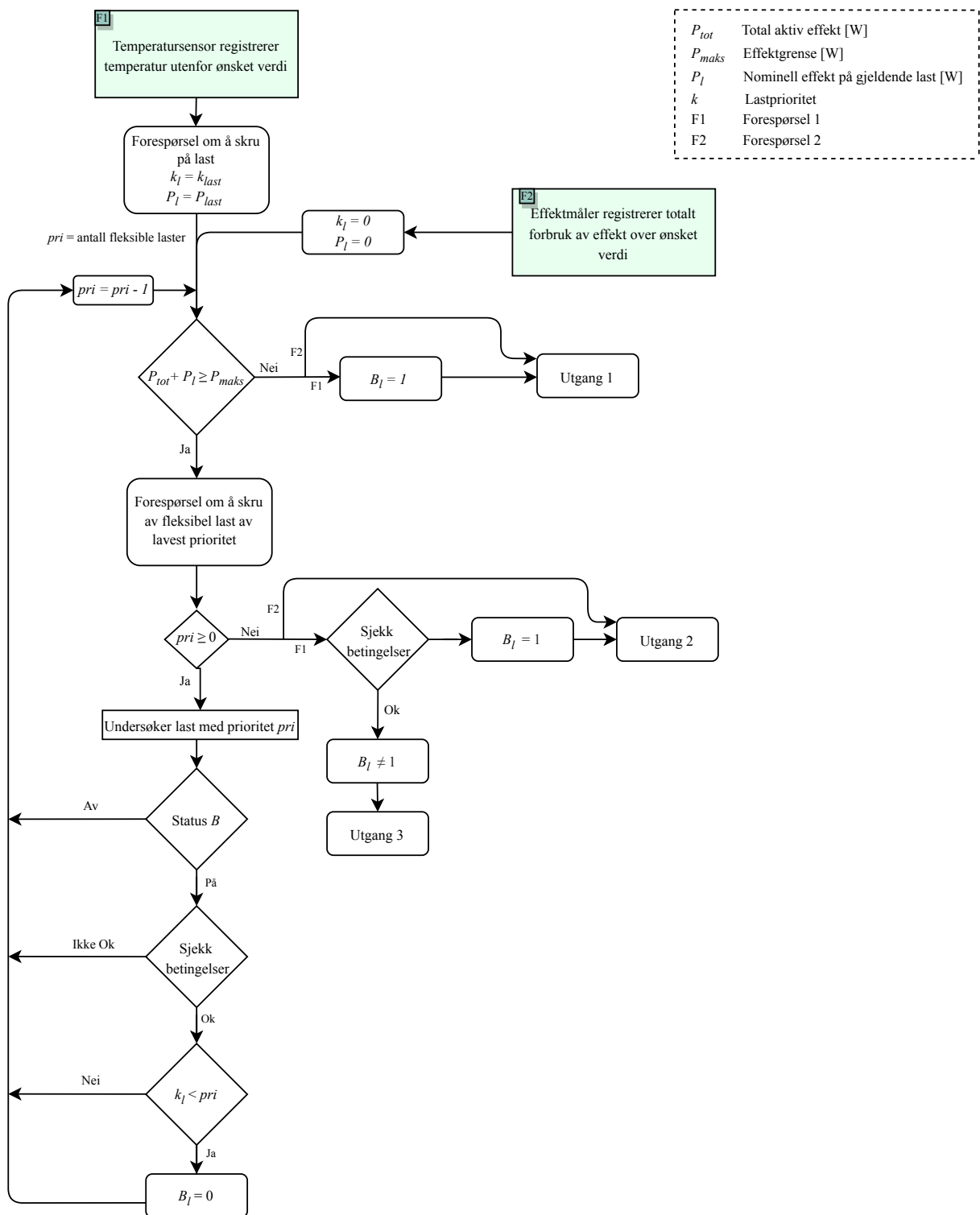
### 7.1 Algoritmens funksjonalitet

Algoritmen som implementeres i Smarthuset har en virkemåte som illustrert i figur 7.1. Den overordnede funksjonaliteten vil være som beskrevet tidligere, under kapittel 5.2. Under samme kapittel er prinsippene rundt hendelsesbasert algoritme nærmere forklart, og som nevnt vil også dette være tilfelle i Smarthusets styringssystem.

Formålet er å redusere effektforbruket, og samtidig opprettholde god opplevd komfort. Målere og sensorer vil i bestemte intervaller sørge for å sjekke om disse betingelser er overholdt, og det er altså disse verdiene som er systemets input. Dersom en sensor registrerer lavere temperaturer enn ønsket i en temperatursone, vil en forespørsel om påskrudd varmelast kalle på effektkontrollalgoritmen. Denne typen forespørsel er i figur 7.1 betegnet som F1, forespørsel 1. Lasten vil enten få tillatelse til å skru seg på, eller nektes tillatelse, basert på den forhåndsbestemte effektgrensen, og hvorvidt den forespurte lasten er prioritert høyere enn andre laster i systemet. Prioriteringen til den forespurte lasten,  $k$ , sjekkes opp mot alle de andre lastene i prioriteringslisten. Forespørsel 2, F2 i figuren, blir sendt dersom måleren registrerer et for høyt effektforbruk. Ved dette tilfellet vil en fiktiv last av prioritet lik 0 ønskes påskrudd gjennom effektkontrollalgoritmen. En prioritet,  $k$ , lik 0 står høyere enn alle de fleksible lastene på listen, og algoritmen sørger da for å skru av én etter én last, til effektforbruket er under ønsket grense.

Effektkontrollalgoritmen har 3 forskjellige utfall. Disse utfallene er i algoritmen betegnet som utgang 1, 2 og 3, med følgende betydninger;

- |                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Utgang 1</b> | Effektforbruket er under grensen. Forespurt last er skudd på.  |
| <b>Utgang 2</b> | Effektforbruket er over grensen. Forespurt last er skrudd på grunnet ikke tilfredstilte betingelser. |
| <b>Utgang 3</b> | Effektforbruket er over grensen. Forespurt last er ikke skrudd på grunnet tilfredstilte betingelser. |



Figur 7.1: Flytskjema for styringsalgoritmens funksjonalitet.

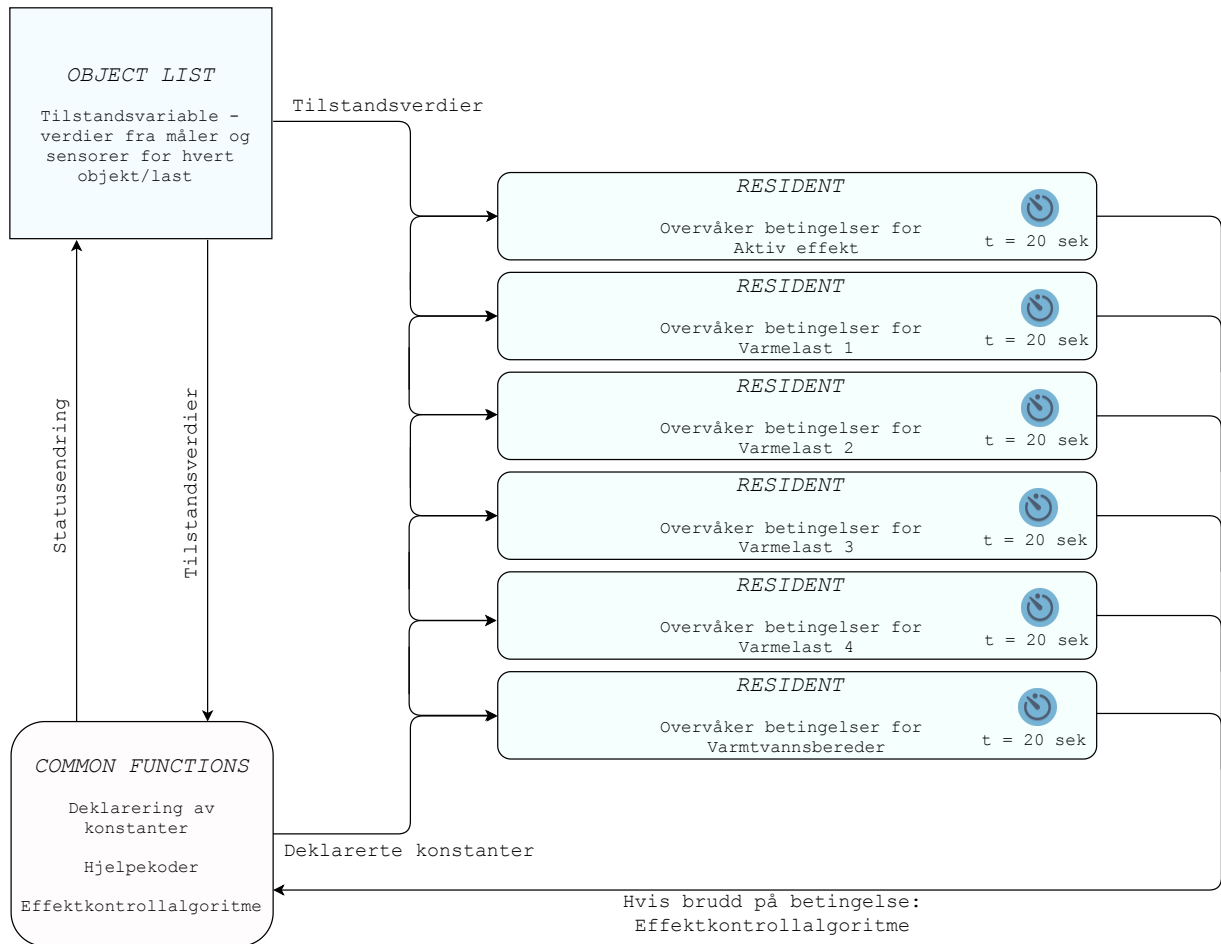
## 7.2 Implementering av algoritmen i Smarthuset

Styringssystemet er implementert gjennom den tidligere introduserte sentralenheten *Logic Machine 4*, på komponentens eget nettbaserte brukergrensesnitt. På denne siden kan en overvåke alle ønskede objekter på buss-linjen, både som liste, eller fra andre visualiserings-verktøy. Disse objektene er laster, målere og sensorer, og verdiene til de forskjellige er enten boolske (0/1) eller flyttall, for å eksempelvis representere henholdsvis status og temperatur. Disse verdiene oppdateres kontinuerlig, og overvåkes av algoritmer i systemet.

Implementeringen av selve algoritmen foregår under fanen *Scripting*. Her skal funksjonene fordeles i forskjellige skript, som arrangeres til et felles styringssystem. Kodene kan enten bygges ved hjelp av funksjonsblokker eller kodes med programmeringsspråket Lua. Algoritmen designet for dette styringssystemet er programmert ved det sistnevnte. For et brukervennlig grensesnitt introduserer LM4 6 forskjellige typer skript å velge mellom, som hovedsaklig skiller seg fra hverandre ved hvordan disse trigges. Viktigst er typen skript som er inkludert i laststyringssystemet, og dette er; *Resident* og *Common functions*. Hver av disse er kort beskrevet under avsnittet. Til tross for at algoritmen er en hendelsesbasert algoritme, blir det ikke tatt i bruk *Event-based* skripting, som trigges ved en spesifikk endring. Dette underbygger på den andre siden at effektkontrollalgoritmen kunne blitt designet og implementert på forskjellige måter. Brukergrensesnittet er omfattende, og åpner for at forbruker skal kunne styre komponenter og laster i huset, akkurat slik det måtte ønskes.

<b><i>Resident-script</i></b>	Skript som kjører for hvert bestemte intervall t, for å sjekke endring i objekttilstand.
<b><i>Common functions</i></b>	Skript med en rekke funksjoner, som kalles på fra andre skript. Her er også deklarerer av konstanter og variabler samt effektkontrollalgoritmen.

Med en kontinuerlig oppdatert objektliste og funksjoner fordelt blant flere skript, vil verdier flyte mellom disse som illustrert i figur 7.2.



Figur 7.2: Flytskjema for implementering av laststyringssystem i *Logic Machine*.

### 7.3 Parametere

De spesifikke betingelsene knyttet til hver enkelt last vil bli presentert i neste delkapittel, 7.4. I dette delkapittelet vil konstantene og variablene som gjør seg gjeldende i disse betingelsene bli presentert.

#### 7.3.1 Konstanter

##### Effektgrense

Målet med styringssystemet er å holde forbruket under en effektgrense. Det må dermed deklarerer en konstant for denne grensen. Denne vil variere for hver simulering.

$$P_{maks} = \text{Effektgrense}$$

### Temperaturbetingelser

Temperaturbetingelsene i styringsalgoritmen vil være konstante og like under alle målinger. Komforttemperaturene vil være som følger;

$$\begin{aligned}T_{VB} &= 75^{\circ}C \\T_{stue} = T_{arb} = T_{gang} &= 22^{\circ}C \\T_{bad} &= 26^{\circ}C\end{aligned}$$

Under sparemodus vil følgende være sett-temperatur;

$$\begin{aligned}T_{VB} &= 75^{\circ}C \\T_{stue} = T_{arb} = T_{gang} &= 18^{\circ}C \\T_{bad} &= 22^{\circ}C\end{aligned}$$

Toleransene knyttet til gulv- og lufttemperaturer i systemet er gitt ved følgende intervaller;

$$\begin{aligned}\Delta T_{komfort} &= 1^{\circ}C \\ \Delta T_{akseptabel} &= 5^{\circ}C\end{aligned}$$

Kravet knyttet til varmtvannsberederen baserer seg på følgende konstant;

$$T_{VB,uakseptabel} = 60^{\circ}C$$

### Last

De siste konstantene er knyttet til lasten i seg selv.

$$\begin{aligned}P &= \text{lastens nominelle effekt} \\ k &= \text{lastens prioritet} \\ rom &= \text{temperatursonen lasten befinner seg i} \\ ad &= \text{lastens fysiske adresse på buss-linjen}\end{aligned}$$

### 7.3.2 Variable

Parameterne som vil variere i systemet er følgende;

$T_{VL,t}$  = temperatur i lastens temperatursone ved tidspunkt  $t$

$T_{VB,t}$  = temperatur i varmtvannsberederen ved tidspunkt  $t$

$P_{tot}$  = den totale aktive effekten i bruk ved tidspunkt  $t$  [W]

$B_t$  = status på lastens reléutgang ved tidspunkt  $t$  [boolsk]

$pr_i$  = generell variabel for prioritet

## 7.4 Styring av de enkelte fleksible lastene

Majoriteten av de fleksible lastene i Smarthuset er koblet til Schneider sin MTN647893 relémodul, også en KNX komponent. Varmefolie i stue og på arbeidsrom har som nevnt egne releer. Styring av lastene vil skje gjennom disse releene. Utkoblingen av en last skjer ved at releet bryter strømmen inn til lasten. Et effektforbruk over en forhåndsbestemt effektgrense er det eneste som vil utløse strømbrudd på en eller flere av utgangene til releet, bestemt av styringsalgoritmen. Dersom effektgrensen er overholdt er det de innebygde termostatene som bestemmer statusen til hver enkelt varmelast og til varmtvannsberederen, uten forstyrrelser fra effektkontrollalgoritmen.

### Varmtvannsbereder

Bereederens sett-temperatur er satt til 75°C, felles for alle OSO Saga beredere, og den innebygde termostaten vil alltid forsøke å opprettholde denne temperaturen. Termostaten i berederen vil registrere når det tappes vann, da dette volumet vil fylles med kjøligere vann. Utover dette vil berederen sku seg på med jevne mellomrom for å gjøre opp for varmetap. Da dette varmetapet er svært lite grunnet god isolasjon, vil berederen ved disse tilfellene kun være påskrudd en kort tidsperiode.

Dersom det totale effektforbruket er større enn den forhåndsbestemte grensen, vil effektkontrollalgoritmen styre berederen via tilhørende reléutgang. Vanntemperaturen i berederen har et akseptabelt avvik fra den gitte sett-temperaturen,  $\Delta T_{VB}$ . Dersom temperaturen holder seg innenfor dette intervallet, har algoritmen tillatelse til å skru av berederen, dersom effektgrense og prioriteringsliste tilsier at dette er nødvendig. Dersom temperaturen synker til en uakseptabel temperatur, gitt som  $T_{VB,uakseptabel} = T_{VB,s} - \Delta T_{VB}$ , vil ikke lengre algoritmen koble ut lasten, selv om effektgrense og prioriteringsliste tilsier det. Status på reléutgangen koblet til varmtvannsberederen er illustrert under.

$$B_{VB,t} = \begin{cases} 0 & T_{VB,t} > T_{VB,uakseptabel} \\ 1 & T_{VB,t} \leq T_{VB,uakseptabel} \end{cases}$$

der

$B_{VB,t}$  er status på reléutgang koblet til varmtvannsberederen ved tidspunkt  $t$ .

$T_{VB,t}$  er temperaturen i varmtvannsberederen ved tidspunkt  $t$ .

Vannet i varmtvannsberederen bør ha en temperatur over  $60^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ . Under denne temperaturen øker risikoen for legionella. Av nettopp denne grunn har  $T_{VB,uakseptabel}$  fått verdien  $60^{\circ}\text{C}$ , som tidligere introdusert.

### Varmelaster

Samtlige av varmelastene i Smarthuset er termostatstyrt. Termostatene som styrer hver sin varmelast, er de samme som sender verdier til LM4, og blir til enhver tid overvåket gjennom laststyringsalgoritmen. Uten avbrytelser fra styringsystemet, vil status på en termostatstyrt varmelast være som følger;

$$B_{termostat,VL,t} = \begin{cases} 0, & T_{VL,t} > T_{VL,s} + \Delta T \\ 1, & T_{VL,t} \leq T_{VL,s} \\ B_{termostat,VL,t-1}, & T_{VL,s} \leq T_{VL,t} \leq T_{VL,s} + \Delta T \end{cases}$$

der

$B_{termostat,VL,t}$  er status på varmelast ved tidspunkt  $t$ .

$T_{VL,t}$  er luft- eller gulvtemperaturen i rommet med varmelast ved tidspunkt  $t$ .

$T_{VL,s}$  er sett-temperaturen i rommet.

$\Delta T$  er temperaturendring.

Dersom effektgrensen er overholdt vil varmelastens innebygde termostat få styre uforstyrret av effektkontrollalgoritmen, slik som for varmtvannsberederen. I likhet med varmtvannsberederen vil kontrollalgoritmen også ta over styringen her dersom effektgrensen er nådd. På den andre siden har det i tilfellene med varmelaster vært nødvendig å implementere flere konstanter og betingelser for å opprettholde en akseptabel komfort.

For å unngå uakseptable temperaturer som følge av avviste varmelaster, er det introdusert følgende to temperaturintervaller;  $\Delta T_{Komfort}$  og  $\Delta T_{Aakseptabel}$ .  $\Delta T_{Komfort}$  vil representere intervallet som gir komfort. Ved temperaturer utenfor dette intervallet vil algoritmen fortsatt ha tillatelse til å skru av varmelast dersom effektgrense og prioriteringsliste tilsier det.  $\Delta T_{Aakseptabel}$  representerer intervallet der temperaturen ikke nødvendigvis gir komfort, men likevel er akseptabel. Temperaturer lavere enn  $T - \Delta T_{Aakseptabel}$  er ikke akseptabelt, og algoritmen nektes derfor å skru av varmelast.

Dersom forbruket har overgått effektgrensen, vil status på reléutgangene koblet til hver sin varmelast være som følger;

$$B_{VL,t} = \begin{cases} 0, & T_{VL,s} - \Delta T_{Akseptabel} < T_{VL,t} < T_{VL,s} + \Delta T_{Akseptabel} \\ 1, & T_{VL,t} \leq T_{VL,s} - \Delta T_{Akseptabel} \end{cases}$$

der

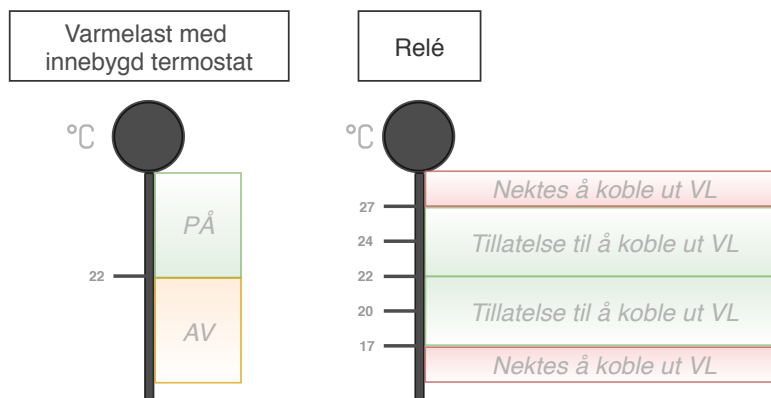
$B_{VL,t}$  er status på reléutgang koblet til varmelast ved tidspunkt  $t$ .

$T_{VL,t}$  er luft- eller gulvtemperaturen i rommet med varmelast ved tidspunkt  $t$ .

$T_{VL,s}$  er ønsket, og innstilt, temperatur.

$\Delta T_{Akseptabel}$  er akseptert temperaturendring i enten positiv eller negativ retning.

Sett-temperaturen på hver termostat settes naturligvis lik den ønskede temperaturen slik den står deklarerert i algoritmen, som styrer releet. Gitt konstantene i kapittel 7.3.1, er følgende figur et eksempel på temperatursystemet, og et grafisk bilde av tilfellene presentert ovenfor.



Figur 7.3: Temperatursystem i stue, i gang og på arbeidsrom.

## Lading av elbil

Den totale batterikapasiteten til norske elbiler representerer en stor fleksibilitet. I dette styringssystemet er derfor lasten som denne ladingen pådrar seg inkludert som fleksibel. Det antas at for eiere av elbil er denne en essensiell del av hverdagen. Dette betyr videre at forskjellige sjåførere kan være best tjent med forskjellige betingelser knyttet til denne lasten, og også prioriteringen av elbillading vil kunne variere fra bolig til bolig.

I dette styringssystemet er ladingen av elbil inkludert som i den tidligere introduserte artikkelen fra IEEE. Bilen er fleksibel og inkludert i prioriteringslisten, som i praksis betyr at denne kan avbrytes dersom øvrige laster og effektgrensen tilsier at dette er nødvendig. Samtidig er viktigheten av bilen påpekt ovenfor, og en bil med tomt batteri når denne trengs er kilde til misnøye hos forbruker. Betingelsen som derfor er inkludert i systemet, er at batteriet skal lade minimum 30 minutter fra laderen er pluggert i. Etter 30 minutter har systemet tillatelse til å skru denne av hvis nødvendig med hensyn til effektforbruk.



## **Vaskemaskin og tørketrommel**

Det er kjent at våte og nyvaskede klær ikke bør ligge for lenge i vaskemaskinen, både med tanke på utvikling av bakterier og vond lukt. Når vaskemaskinen og tørketrommelen skal inkluderes som fleksible laster, bør dette derfor hensyntas.

Vaskemaskinen har krav til å stå på 30 minutter før en eventuell utkobling. Dersom denne kobles ut, skal den skrus på igjen så fort effekten tilsier at det er rom for dette. I disse målingene må dette gjøres manuelt. Tørketrommelen har også krav til å stå på 30 minutter før utkobling. Det er videre kjent at laster som vaskemaskin og tørketrommel ikke bør være på om natten, da dette truer brann sikkerheten. Under målingene i denne besvarelsen vil derfor ikke tørketrommelen slås på igjen dersom systemet har koblet denne ut.



## 8 Styring og måling av effektforbruk i Smarthuset

I dette kapitlet er Smarthusets laster styrt, og effektforbruket målt. Resultatene for hvert scenario vil her bli presentert. De resulterende økonomiske betraktningene er studert i kapittel 9.

### 8.1 Imitasjon av effektbehov ved vinterstid

Simuleringene i besvarelsen er hovedsakelig gjennomført i maimåned, og noen i tidlig juni. Temperaturen i maimåned kan variere stort fra år til år, men vil ikke kunne sammenlignes med temperaturene gjennom den norske vinteren. Det er effektforbruket under vinterhalvåret som hovedsakelig utfordrer kapasiteten i strømmettet. Det er derfor hensiktsmessig å etterligne disse måneders lastforbruk i simuleringene. Effektkontrollalgoritmen er også utviklet med hensyn til vintertemperaturer, da store deler av de fleksible lastene er varmelaster.

Basert på argumentene over er det under simuleringene tatt i bruk kjøleeffekten fra to varmepumper, som skal representere varmetap. Varmepumpene er plassert i hvert sitt rom, én i stue og én i gang. Det er ikke gjennomført noen varmetapsberegninger på forhånd. Det imiterte varmetapet vil derfor avvike noe fra realiteten. Temperaturen på varmepumpene er satt til 20°C, med lav vifteeffekt for å unngå at varmepumpene alene skal være dominerende for lufttemperaturene i systemet, i tillegg til å unngå unødvendig ubehag som følge av trekk.

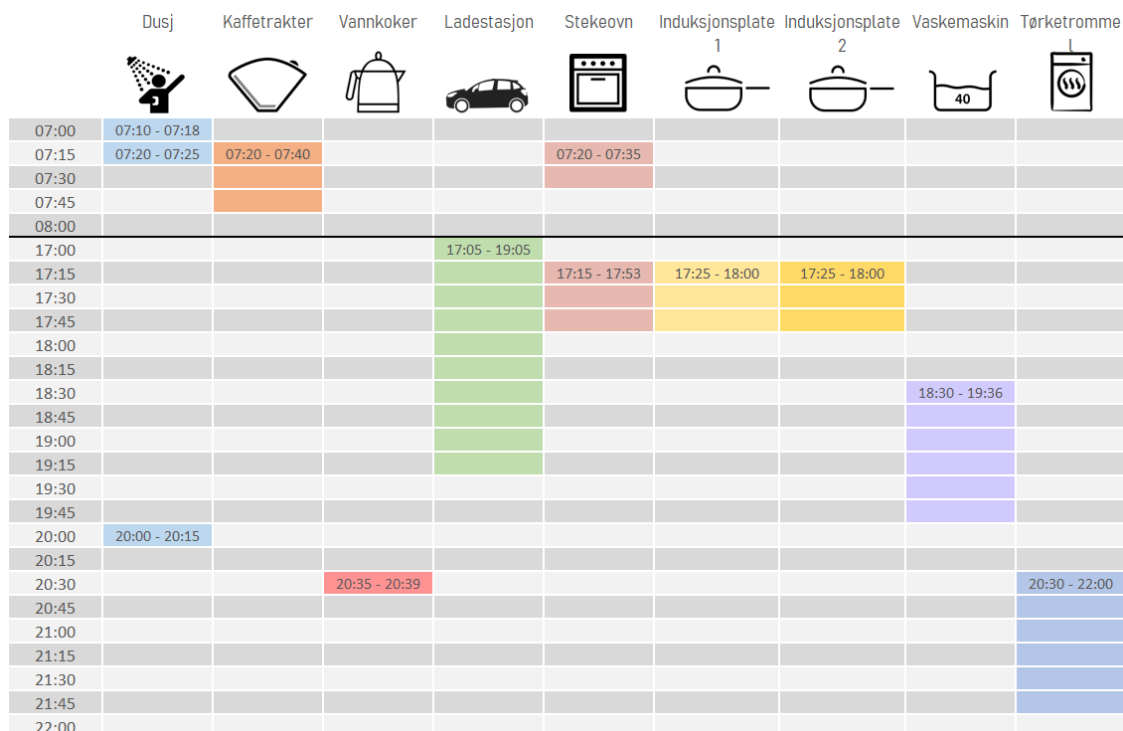
Varmepumpene er koblet til strømforsyningen utenfor Smarthuset, og dette effektforbruket er dermed ikke inkludert i lastprofilene.

### 8.2 Timeplan og forbruksmønster

#### 8.2.1 Timeplan

Det antas at Smarthuset er en husholdning på 3. Alle står opp rundt 07:00, og forlater huset før klokken 08:00. Ingen returnerer før 17:00. Som illustrert i timeplanen, vil det mellom 17:00 og 18:00 være middagslaging. Etter middag er det rom for fritidsaktivitet, som innebærer at én eller flere forlater huset. Det er derfor lagt inn en dusj som last på kvelden. Alle beboere legger seg til 23:00. Det vil ikke være noe aktivitet i huset mellom 23:00 og 07:00.

Varmtvannsberederen og gulvvarmen er fleksible laster, og vil skru seg av og på basert på henholdsvis vanntemperatur og luft- eller gulvtemperatur i tilhørende rom. De ytterlige lastene er laster som forbrukeren selv skrur på. De fleste av disse er ikke-fleksible, mens 3 av dem er inkludert som fleksible for at styringssystemet skal ha tillatelse til å skru disse av. I figur 8.1 er forbruksmønsteret gjennom døgnet illustrert som en timeplan. Denne inkluderer bruk av laster som ikke er termostatstyrt.



Figur 8.1: Timeplan

Utover timeplanen vil toalett, servant, vask og stikkontakter tas i bruk jevnlig i løpet av morgen og kveld. Bruk av vasken på kjøkkenet bidrar til store effekttopper av kort varighet da varmtvannet ikke hentes fra bereder, men varmes opp av en hurtigvarmer på 9 kW. Kjøleskap og fryser har et lavt effektforbruk gjennom hele døgnet, og er derfor ikke tatt med i timeplanen.

## 8.2.2 Scenarier som avviker fra timeplanen

### Smart lading

Ved noen av scenariene vil bruksprofilen til enkelte av lastene vike fra timeplanen. Den første endringen vil skje i scenario 4, og gjelder for alle etterfølgende scenarier. All lading av elbil vil forskyves til natten - en endring til det som ofte betegnes som *smart* lading.

### Styring av varmtvannsbereder

Varmtvannsberederen er ikke illustrert eksplisitt i timeplanen, men slik den termostatstyrte lasten fungerer vil denne skru seg på når vanntemperaturen begynner å synke. Der dusj er med i timeplanen, er det altså varmtvannsberederen som er selve lasten det siktes til. Som senere vil bli belyst, vil en effekttopp inntreffe på morgenen. Varmtvannsberederen bidrar til denne toppen. Uavhengig om varmtvannsberederen bidrar til den globale toppen under døgnmålingene, er dette en last som bidrar med energiforbruk under topplasttimer. Det er

derfor av interesse å undersøke virkningen av å forskyve denne i tid.

Den opprinnelige betingelsen knyttet til varmtvannsberederen er en temperatur over 60 °C. For temperaturer lavere enn denne, vil ikke laststyringssystemet ha tillatelse til å skru denne av. I scenario 6 og 7 vil denne betingelsen endres. I disse scenariene vil varmtvannsberederen kun stå på mellom 12-15 og 23-06; timer som garanterer et lav energiledd i nettleien.

Den tidligere betingelsen er satt med hensyn til Legionella. Det er fortsatt viktig å opprettholde sikkerheten rundt denne bakterien, da utvikling av denne medfører en helserisiko. Temperaturen i varmtvannsberederen vil som følge av den foreslåtte endringen være lavere over flere timer. Da den to ganger i døgnet likevel når en temperatur der legionella-bakterien ikke er levedyktig, anses ikke den foreslåtte endringen som truende for helsen.

### **8.2.3 Supplert energi**

Endringene, som nettopp presentert i kapittel 8.2.2, vil medføre endringer i total energiforbruk, men også når på døgnet dette forbrukes. Alle disse endringene vil ikke komme frem av grafene under resultatkapittelet, men er likevel inkludert i beregninger. Under er forklaringen på hvorfor og hvordan dette blir gjort.

#### **Lading av elbil**

Timeplanen illustrert i figur 8.1 er utgangspunktet for simuleringene. Styringssystemet vil kunne avbryte elbillader, vaskemaskin og tørketrommel, som betyr at bruken av disse vil vike fra timeplanen, dersom dette blir tilfellet.

Det høye effektforbruket til elbilladeren fører til at en utkobling kan utgjøre en betydelig forskjell i døgnetts totale energiforbruk. For scenariene der laderen kobles ut før 1905, er det resterende energiforbruket tatt hensyn til i etterkant av simuleringene, med den antagelse om at bilen lader ferdig på natten.

I praksis betyr dette at energimengden fra natteladning er en del av neste døgns energiforbruk, da ladingen vil foregå etter 00:00. Likevel er det antatt at den bestemte effektgrensen vil skape den samme situasjonen også for dagen i forveien. Det forventes derfor samme mengde energiforbruk fra natteladning i det aktuelle døgnet. Hvert simulert døgn er på denne måten tilordnet et totalt forbruk på 6 kWh for lading av elbil, som er nødvendig for en rettferdig utregning av nettleie.

For hvert scenario vil det bli presentert en tabell med nøkkeltall. Energiforbruket oppgitt i disse tabellene inkluderer energiforbruket fra natteladning. Det er med andre ord lagt til 4,5 kWh dersom elbilen har fått lade 30 minutter fra før, eller 6 kWh ved smart lading.

Dette energiforbruket er ikke inkludert i grafene for aktiv effekt. Det antas at ladingen av elbil foregår uten å kolliderer med forbruket fra varmtvannsberederen, slik at den smarte ladingen ikke medfører nye globale toppunkt i effektgrafene.

Årsaken til at energiforbruket fra natteladning ikke er gjennomført i praksis, er at denne lasten som nevnt emuleres av en varmevifte. En varmvifte av denne størrelsen anbefales ikke å ha

på over lengre tid, uten tilsyn. Med hensyn til brannsikkerhet er dette forbruket derfor lagt til i etterkant.

### Styring av varmtvannsbereder

I scenario 6 og 7 vil styring av varmtvannsberederen innebære en strengere og begrenset bruk. Hensikten er som forklart tidligere; å forskyve dette energiforbruket til timer utenfor topplast-timer, og samtidig redusere effekttoppen som varmtvannsberederen bidrar til.

Ved ny styring vil vi senere se at vanntemperaturen er omkring 33°C klokken 23:00 for begge scenariene. Å løfte denne temperaturen opp til en temperatur der termostaten stanser varme-elementene vil ta i underkant av to timer. Da varmtvannsberederen starter opp klokken 23:00, betyr dette at energien fordeles på to døgn. Dette vil komme tydelig frem under scenario 6, der varmtvannsberederen står på 55 minutter ved inngangen av døgnet, og 1 time ved døgnetts slutt. Det antas at det samme vil være tilfelle i scenario 7, men som senere vil bli belyst har dette scenariet et annet utgangspunkt, med allerede oppvarmet vann ved inngangen av døgnet. Det er derfor lagt til 2,75 kWh på det totale energiforbruket her. 2,75 kWh tilsvarer energiforbruket til varmtvannsberederen i løpet av 55 minutter, slik observert under scenario 6. Dette er igjen for rettferdighet ved sammenligning med andre scenarier.

Dette energiforbruket vil ikke være synlig i grafene, men vil være inkludert i nøkkeltallene som presenteres under scenariet. Det antas at dette supplerte forbruket ikke bidrar til ny topp eller overforbruk.

### 8.2.4 Natt- og dagsenking

I samtlige av simuleringene er det inkludert natt- og dagsenking av temperaturen. Dette er for å spare unødvendig bruk av energi til oppvarming som ikke lar seg merke av forbruker.

Figur 8.2 illustrerer timene med temperatursenking. Sett-temperaturene vil i disse tidsrommene senkes med 4°C.



Figur 8.2: Timer med natt- og dagsenking.

Den termiske tregheten i en bolig vil variere med boligens konstruksjon. Dette betyr i praksis at temperaturrendringene som følge av natt- og dagsenking vil variere fra bolig til bolig. Likevel er det viktig å ikke senke temperaturen til det punktet at komforttemperatur vil bli vanskelig å oppnå uten en altfor stor effekttopp.

### 8.3 Grafene - Oppløsning, forsinkelser og fargekoder

Det vil for hvert scenario presenteres 6 grafer. 2 av disse er målte verdier av aktiv effekt. De resterende 4 er temperatur i varmtvannsbereder, temperatur fra gulvføler på bad og lufttemperatur i stue og på arbeidsrom. Den overførte verdien av lufttemperatur i gangen til *Logic Machine* har vist seg å henge seg opp. I tillegg er gangen et lite areal med stor påvirkning fra varmepumpen plassert rett over utgangsdøren, og temperaturforløpet i dette rommet er derfor ikke av fokus i resultatene.

Gjennom døgnsimuleringene er verdiene lagret fortløpende i *Logic Machine trend log*. Samtlige, med unntak av én graf, er satt til å ha en oppløsning på 5 minutter. Dette betyr at verdiene oppgitt, som legger grunnlaget for grafene, er gjennomsnittlige verdier i løpet av 5 minutter. Dette betyr samtidig at styringssystemet kan registrere en momentan effekt høyere enn oppgitt i *trend log*. Da effektkontrollalgoritmen til enhver tid overvåker denne momentane verdien, kan laster tvinges avskrudd før det er illustrert en effekt over grensen i grafen.

For hvert scenario presenteres det én graf med verdier for gjennomsnittlig effektforbruk per time. Hensikten med dette er å se hvilken effekt kunden vil bli fakturert for, med systemets forskjellige effektgrenser.

Kodene som overvåker måler og sensorer er som illustrert tidligere i figur 7.2 satt til å hente verdier ca. hvert 20. sekund. I tillegg er det i selve effektkontrollalgoritmen lagt inn en tidsforsinkelse på 10 sekunder for at målt effekt skal rekke å oppdatere seg etter avskrudd last, før koden eventuelt må kjøres på nytt. Disse forsinkelsene kan være med og skape korte, men høye effekttopper. Vi vil kunne observere et effektforbruk over effektgrensen selv om summen av effekt fra ikke-fleksible laster er mindre enn denne, nettopp fordi systemet har disse nevnte forsinkelsene i avbrytningen av fleksible laster. Styringssystemet har altså en egen treghet.

Dersom det er observert større forsinkelser enn forventet i systemet, har det i noen tilfeller vært nødvendig å hjelpe systemet ved å endre status på last manuelt.

#### Fargekoder

I samtlige grafer, med unntak av temperatur for varmtvannsbereder, vil natt- og dagsenking være illustrert med blå transparent farge parallelt med y-aksen.

De to øverste grafene i hver figur vil illustrere effektforbruket gjennom døgnet for det valgte scenariet. Den oransje horisontale linjen (stiplet) representerer effektgrensen for det aktuelle scenariet.

I de tre grafene for luft- og gulvtemperatur vil den blå linjen representere selve temperatu-

ren. Hver graf har et horisontalt område med grønn transparent farge. Dette er området for termisk komfort, med verdier begrunnet i tidligere kapittel. Kritisk temperatur er for alle rom satt til 5°C under sett-temperatur, illustrert med rød linje (stiplet).

Hver graf for romtemperatur har i tillegg en enkel grønn linje. Denne representerer sett-temperaturen i timene med natt- og dagsenking.

Temperaturen i varmtvannsberederen er som de andre temperaturene illustrert med blå graf. Rød linje (stiplet) representerer den kritiske temperaturen på vannet, lik 60°C. Varmtvannsberederen er ikke satt til å følge natt- og dagsenking, og derfor er heller ikke tidene for dette illustrert i grafen.

## 8.4 Scenarier

Tabell 8.1 gir en oversikt over scenariene som er testet.

Tabell 8.1: Scenarier

Scenario	Effektgrense [W]	Spesifikasjon
Basis	11 000	Følger timeplan
1	7 000	Følger timeplan
2	5 000	Følger timeplan
3	4 000	Følger timeplan
4	5 000	Smart lading
5	4 000	Smart lading
6	5 000	Smart lading + Begrenset varmtvannsbereder
7	4 000	Smart lading + Begrenset varmtvannsbereder

Resultatene fra de listede scenariene skal legge grunnlaget for diskusjon og resonering rundt ny nettleiestruktur, i sammenheng med laststyring som sluttbrukertiltak. For hvert scenario vil verdiene for maksimalt effektuttak og totalt energiforbruk gjennom døgnet bli belyst. Maksimal effekt vil for hvert scenario presenteres som både gjennomsnitt av 5 minutter og av 60 minutter. Som beskrevet under kapittel 3.2.3 *Valg av oppløsning i beregning av midlere effekt*, vil strømkunde bli fakturert basert på timesverdiene. Det er av stor interesse å sammenligne disse to verdiene for en bedre forståelse av hvordan de enkelte effektoppene virker inn på denne midlere verdien.

Den siste verdien som vil belyses for hvert scenario er energiforbruket under strømmnettets topplasttimer. Motivasjonen er å regne på kostnadene knyttet til tidsdifferensiering av energiledd i høylasttimer, også med hensyn til besparelsene ved laststyring versus ingen laststyring.



## 8.5 Resultater

### 8.5.1 Basisscenario

Effektgrensen under basisscenariet er satt til 11 000 W. Denne grensen er så høy at den ikke utgjør en begrensning i bruk av lastene planlagt i disse målingene. All gulvvarme utgjør totalt 3 930 W. På ettermiddagen vil stekeovn, to induksjonstopper og elbillader trekke strøm. Den teoretiske totale effekten, altså summen av de fleksible og ikke-fleksible lastene i dette øyeblikket er dermed 12 130 W. Samtidig er det tydelig fra målingene at ikke alle lastene har et forbruk lik sin nominelle til enhver tid, og en effektgrense på 11 kW var dermed et rasjonelt valg for basisscenariet.

Tabell 8.2: Basisscenario: Effekt- og energiforbruk

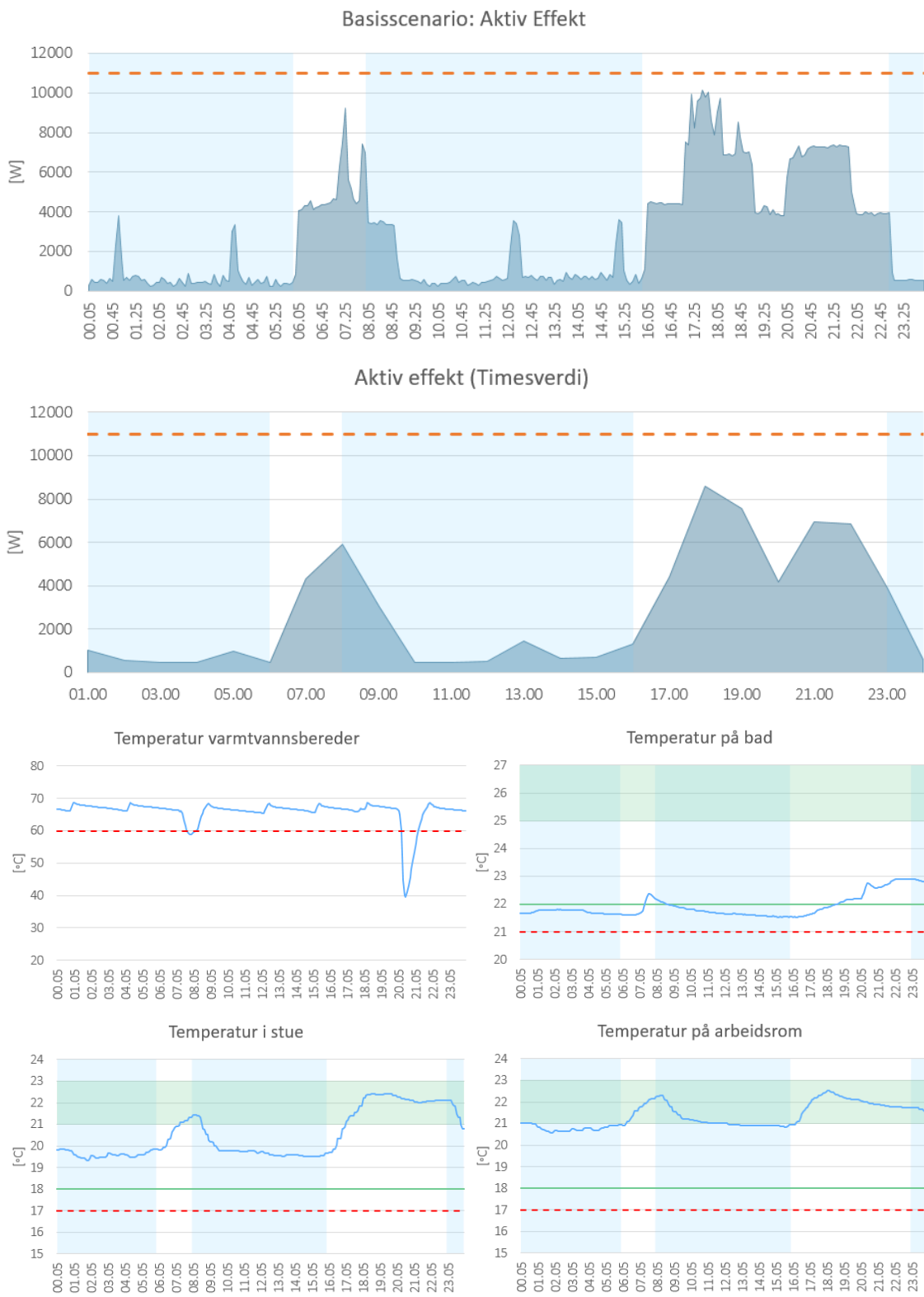
Maksimal effekt	10 131 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	8 614 W
Total energi	65,75 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	34,17 kWh

### Bemerkninger

Det kommer tydelig frem av de to grafene øverst i figur 8.3 at maksimal effekt beregnet som gjennomsnitt per time, er betydelig lavere enn ved hvert 5. minutt. Dette er som forventet. Differansen er på 1,5 kW.

Da alle varmelaster kan stå på uten avbrytelser, er det generelt god temperatur i 2 av de 3 presenterte rommene. På badet er gulvtemperaturen betraktelig lavere enn sett-temperaturen, til tross for at varmekablene får stå på hele døgnet, uten å begrenses av effektgrensen. Dette kan komme av den termiske tregheten som tidligere forklart, i tillegg til varmetap gjennom dørsprekken. Døren inn til badet var til enhver tid lukket, men varmetap forekom også da man måtte inn og ut av dette rommet. De to temperaturtoppene kommer av dusj på morgning og kveld. At varmekablene ikke klarer å løfte gulvtemperaturen på badet til sett-temperatur vil også være tilfellet ved flere scenarier.

Det observeres at temperaturen om natten ikke faller så langt som til sett-temperaturen for natt- og dagsening. Bruk av varmepumpenes kjølefunksjon til å etterligne varmetap fører til lavere temperaturer, mens den høye lufttemperaturen i glassgården bidrar lite til dette. Temperaturen i glassgården varierte mellom 20°C og 28°C denne dagen.



Figur 8.3: Resultater Basisscenariet

### 8.5.2 Scenario 1

Figur 8.4 viser resultatet av døgnsimulering med en effektgrense på 7 000 W. Dette scenariet er det første scenariet som setter en begrensning på lastforbruket. Fra resultatene i basisscenariet er det å forvente at det meste av forbruket fortsatt er under denne valgte effektgrensen på 7 kW.

Tabell 8.3: Scenario 1: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	8 008 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	7 005 W
Total energi	62,15 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	31,71 kWh

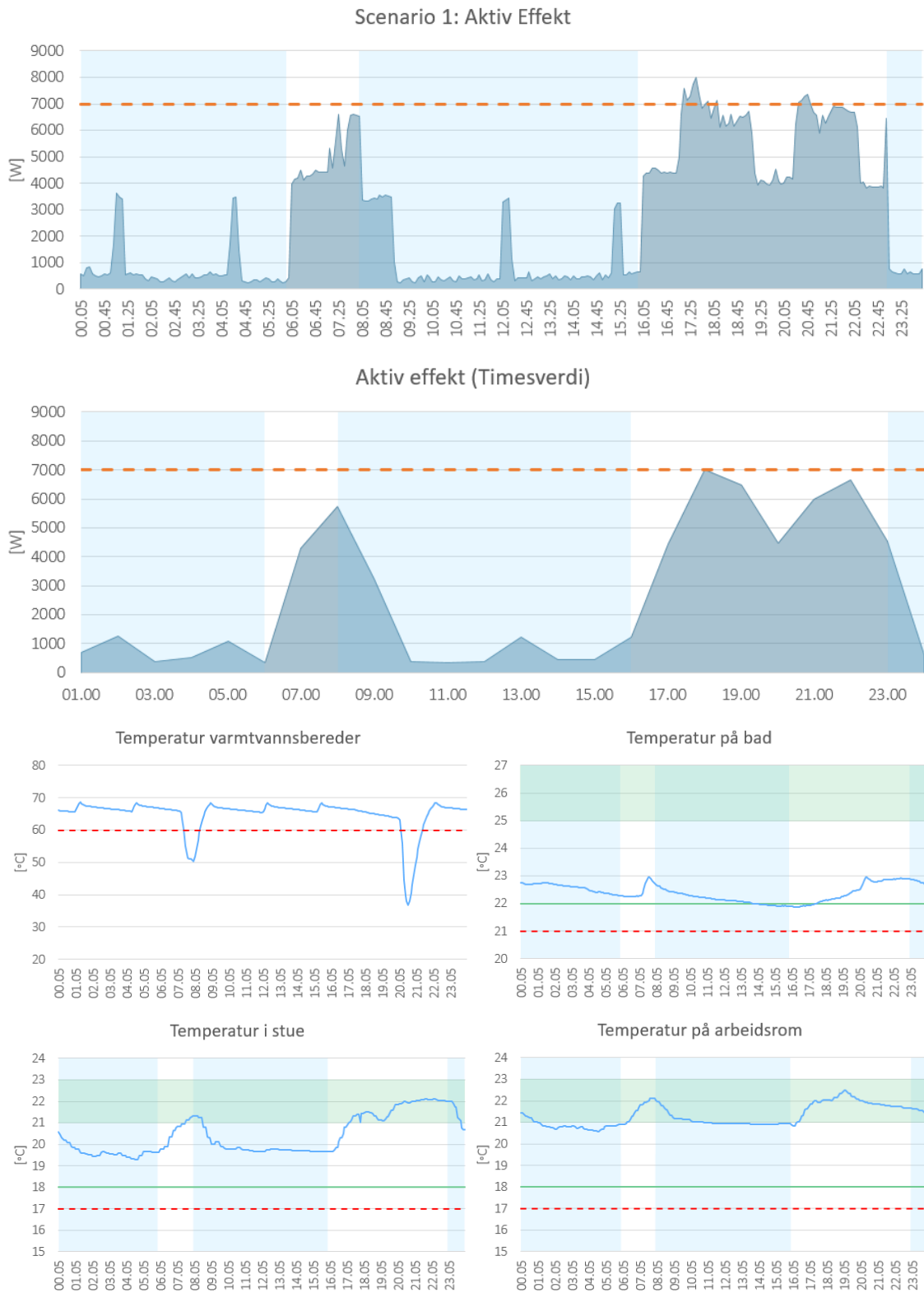
#### Bemerkninger

Det første som ønskes belyst av figuren er effektforbruket i timesverdier, som har en maksimal lavere enn effektgrensen. Dette er til tross for at grafen med 5 minutters oppløsning har flere punkter over denne grensen. Differansen mellom de to grafenes topppunkter er hele 1 363 W. Dette er et viktig funn da det belyser fordelene kunden vil ha ved fakturering basert på timesverdier.

Elbilen får lade ut tiden, da denne er av øverste prioritet, og det ytterligere effektforbruket tilsier at det er nok ledig kapasitet til dette.

Grunnet et effektforbruk over grensen slo systemet av vaskemaskinen klokken 19:02. Som tidligere utdypet er det ikke ønskelig at denne skal stå avskrudd med våte klær over lengre perioder. Vaskemaskinen ble derfor gjenstartet manuelt da dette ble tillatt med hensyn til effektgrensen. Dette var like etter elbilladeren ble koblet fra. Denne situasjonen krevde at forbruker selv måtte gjøre en innsats, da vaskemaskinen måtte skrus på to ganger. Til tross for at dette ikke er en stor jobb, er det et resultat av styringssystemet, og kan i verste fall føre til misnøye. Løsninger for å unngå dette er nærmere diskutert under kapittel 10.

Strømforsyningen til tørketrommelen ble også brutt etter 55 minutter. På dette tidspunktet har flere av varmelastene vært avslått, men termostatene ønsket nå å skru på flere av disse. Da varmelaster er av høyere prioritet enn tørketrommelen, måtte denne vike. Med hensyn til brannfare, ble ikke tørketrommelen skrudd på igjen.



Figur 8.4: Resultater Scenario 1

### 8.5.3 Scenario 2

Effektgrensen i scenario 2 er satt til 5 000 W.

Tabell 8.4: Scenario 2: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	7558 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	5 540 W
Total energi	59,10 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	26,57 kWh

#### Bemerkninger

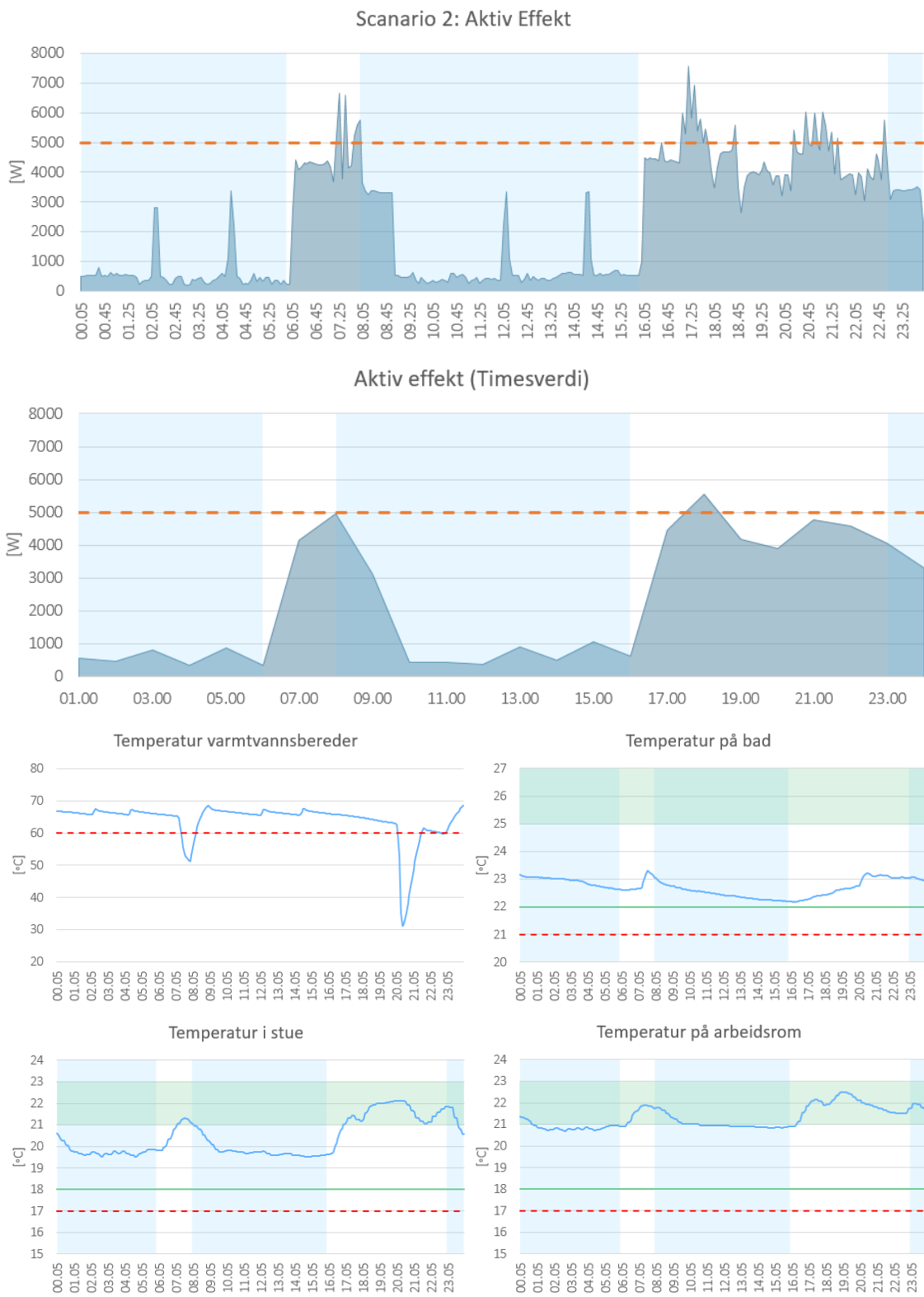
Dette er det første scenariet der effektforbruket i timesverdier overstiger effektgrensen. Overforbruket i dette scenariet er likevel kun beregnet til 1,58 kWh, som vi skal se senere at ikke gir store utslag i nettleien.

Til sammenligning viser grafen for aktiv effekt i scenario 1 til en langt bredere topp på ettermiddagen enn det som observeres i dette scenariet. Dette kommer av at elbilen får lade tiden ut ved en effektgrense på 7 kW, mens det i dette tilfellet ikke er nok ledig kapasitet. Etter betingelsen knyttet til elbilen som last, er laderen koblet til i 30 minutter, før systemet bryter denne. Fra et energiperspektiv gjenstår det 4,5 kWh nattelading, som er inkludert i tallet for total energi i tabell 8.4.

Vaskemaskinen blir ikke avbrutt i dette scenariet. I tillegg til vaskemaskinen, er gulvvarme i stue, i gangen og på bad skrudd på. Temperaturen på arbeidsrom er som illustrert i figur 8.5 godt innenfor komfortsonen.

Etter dusj på kvelden, klokken 20:20, er igjen temperaturen i varmtvannsberederen under kritisk temperatur. Grunnet betingelsene knyttet til den kritiske temperaturen, skrur systemet av flere av varmelastene. Dette kan også ses av grafene for lufttemperatur, som alle er avtagende rundt dette tidspunktet. Når temperaturen i varmtvannstanken når 60°C er berederen rask med å skru seg av, og gulvvarmen slår seg på i alle nødvendige rom.

Styringssystemet skrur av tørketrommelen etter 45 minutter. Da tørketrommelen er lasten av lavest prioritet, var dette forventet. Av hensyn til brannsikkerhet blir ikke tørketrommelen skrudd på igjen.



Figur 8.5: Resultater Scenario 2

### 8.5.4 Scenario 3

I scenario 3 er effektgrensen lik 4 000 W. Summen av forbruket fra alle varmelaster tilsvarer som nevnt 3 930 W. Dette betyr at gulvvarmen alene dekker forbruket opp til denne grensen. Samtidig må gulvvarmen vike for lading av elbil på 3 kW. Ved 3 kW er det kun ledig kapasitet til én gulvvarme, med unntak av varmemefolie i stuen. Den planlagte bruken av ikke-fleksible laster på ettermiddagen vil på et tidspunkt oppta denne kapasiteten. Forbruket fra de ikke-fleksible lastene knyttet til matlaging, altså stekeovn og induksjonstopper, tilsvarer alene 5 200 W.

Tabell 8.5: Scenario 3: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	6 742 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	4 445 W
Total energi	53,71 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	22,41 kWh

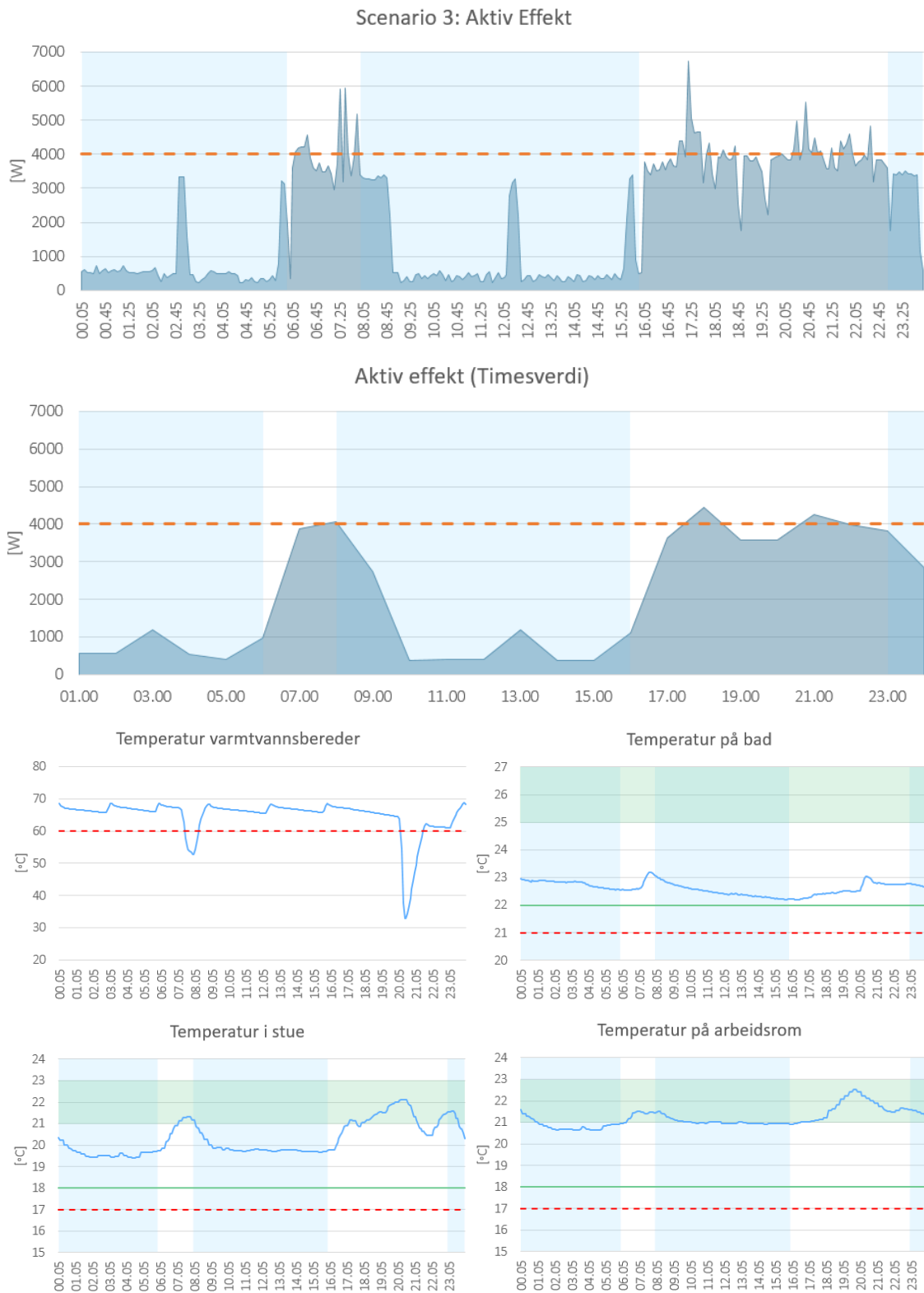
### Bemerkninger

Av grafene for effektforbruk i figur 8.6 er det tydelig at de ikke-fleksible lastene, i kombinasjon med forsinkelser i styringssystemet, fører til høye effekttopper, langt over effektgrensen. Likevel er disse toppene smale, og har derfor begrenset innvirkning på timesverdiene, som ikke overstiger effektgrensen med mer enn 445 W på det meste.

Klokken 17:05 skal elbilen lade, og én etter én gulvvarme kobles fra. Ladingen på 3 kW, i tillegg til underliggende effektforbruk, resulterer i en kapasitet som ikke tillater noen av rommene å ha på sin gulvvarme. Dette lar seg merke noe i stuen, men svært lite utover dette. Etter 30 minutter blir elbilen koblet fra strømforsyningen, slik som i scenario 2 med effektgrense på 5000 W.

Vaskemaskinen får stå på uavbrutt i dette scenariet, mens tørketrommelen avbrytes etter 30 minutter.

Gjennom dette døgnet får generelt gulvvarmen mindre på-tid, sammenlignet med tidligere scenarier. Dette lar seg merke noe gjennom den subjektive oppfattelsen av lufttemperaturen, men spesielt tydelig er det at parketten i gangen, i stuen og på arbeidsrommet ofte er kald, til forskjell fra tidligere scenarier, da gulvvarmen har stått på en større del av dagen. Det samme gjelder for flisene på badet.



Figur 8.6: Resultater Scenario 3



### 8.5.5 Scenario 4

Scenario 4 skiller seg fra de tidligere scenariene ved at det her er tatt i bruk *smart* lading. Som forklart innledningsvis betyr dette at elbilen ikke settes til lading på ettermiddagen, men utsettes til natten, til timene med mye ledig kapasitet på nettet. Elbilen representerer stor fleksibilitet, og dette forbruket er derfor forskjøvet i tid her. Utover dette vil scenario 4 illustrere gevinsten av å flytte hvilket som helst forbruk fra husholdningens toppplasttime til natten. Effektgrensen er satt til 5 kW.

Det påpekes igjen at det totale energiforbruket fra elbilladeren ikke er inkludert i grafene i figur 8.7, men er lagt til i nøkkeltallene i tabell 8.6.

Tabell 8.6: Scenario 4: Effekt- og energiforbruk

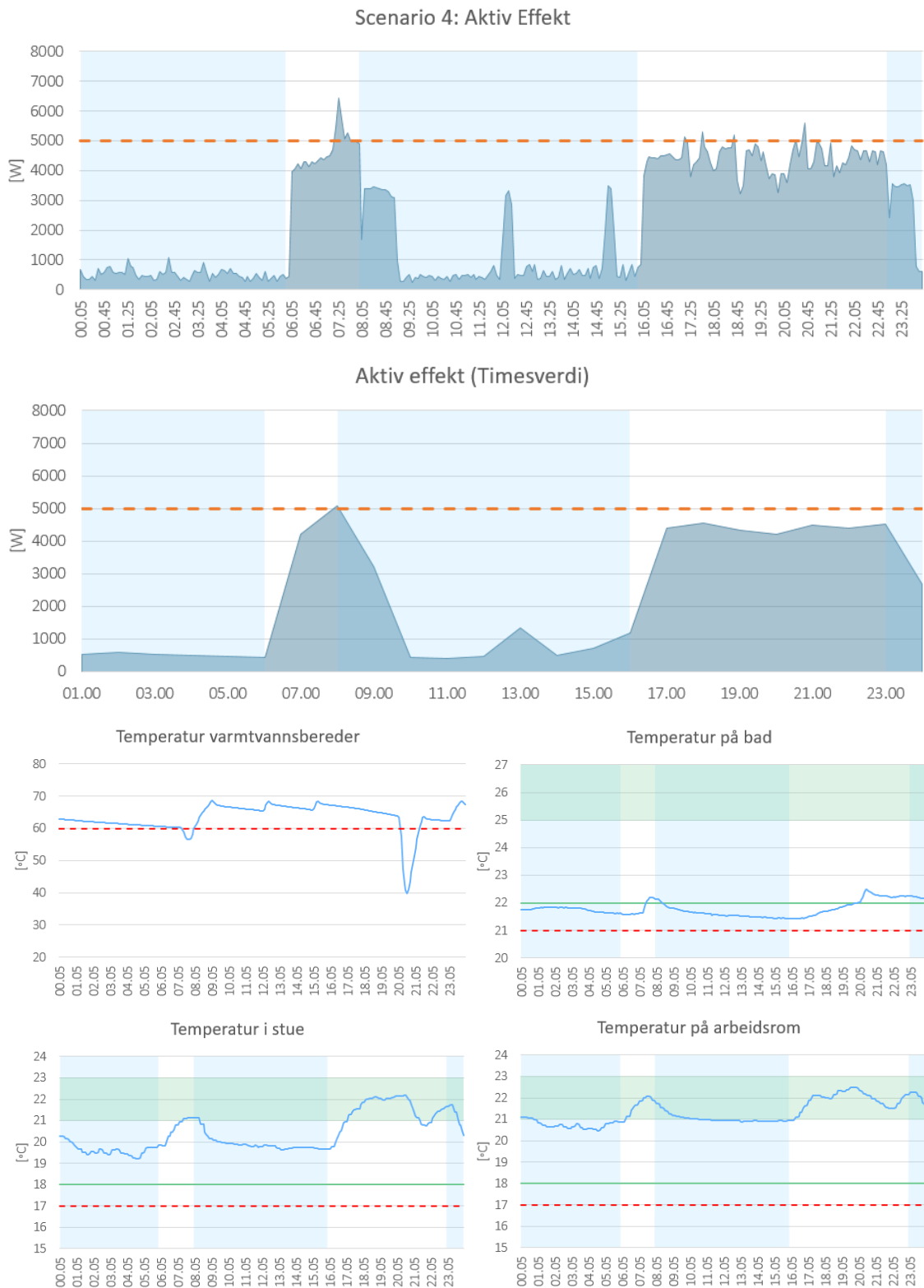
Maksimal effekt	6 430 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	5 093 W
Total energi	60,14 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	26,22 kWh

### Bemerkninger

Dette scenariet er det første tilfellet der døgnetts maksimale effekttopp inntreffer på morgenen. Dette gjelder både for aktiv effekt med 5-minutters intervaller, og timesverdier. Tidligere målinger med ettermiddagslading av elbil har ført til at døgnetts høyeste effekttopp faller på ettermiddagen, men 3 kW forskjøvet i tid endrer altså dette. Det må samtidig bemerkes at det maksimale effekttforbruket for timesverdiene kun overstiger grensen med 93 W på morgenen, mens forbruket ellers holdes under effektgrensen.

Til forskjell fra scenario 2, også med effektgrense på 5 kW, kunne gulvvarmen stå på samtidig som stekeovn og induksjonsplater på ettermiddagen. Den ledige kapasiteten som tidligere ble tildelt elbilladeren, førte nå til at temperaturen fortsatte å stige, fremfor å synke mot grensen til komfort.

Vaskemaskinen fikk fullføre til planlagt tid. Tørketrommelen ble avbrutt ved forespørsler fra laster av høyere prioritet. Blant annet måtte varmtvannsberederen være på ved dette tidspunktet da vanntemperaturen var langt under den kritiske temperaturen.



Figur 8.7: Resultater Scenario 4

### 8.5.6 Scenario 5

Scenario 5 vil som scenario 4 inkludere *smart* lading. Effektgrensen er senket til 4 kW.

Tabell 8.7: Scenario 5: Effekt- og energiforbruk

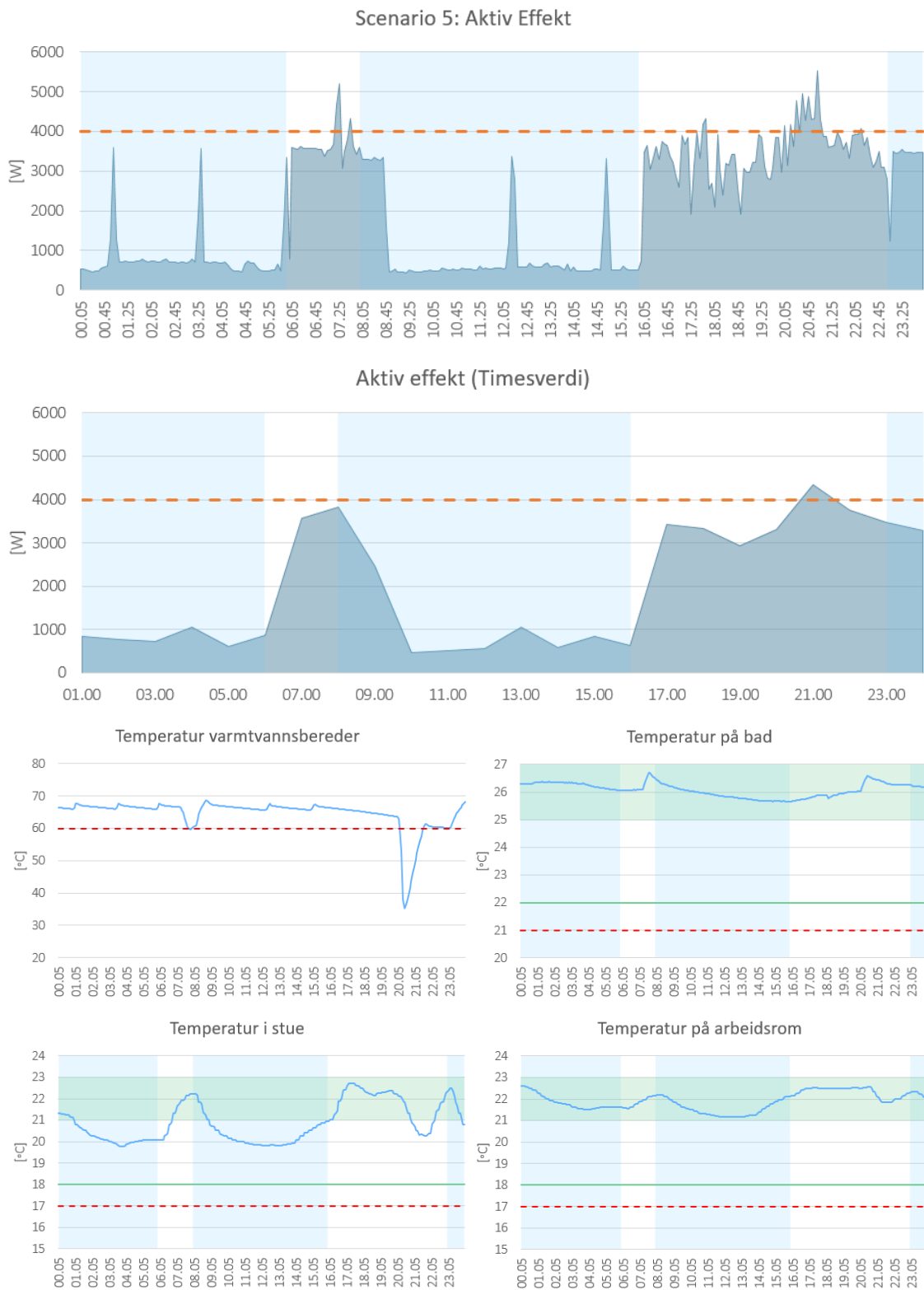
Maksimal effekt	5 543 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	4 350 W
Total energi	53,23 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	19,76 kWh

#### Bemerkninger

Temperaturene i Smarthuset er generelt høyere ved inngangen av dette døgnet, sammenlignet med tidligere scenarier. Fra grafene i figur 8.8 kan en se at lufttemperaturen i stue og på arbeidsrom synker i løpet av natten. Samtidig observeres det at nattemperaturen både på bad og arbeidsrom holder seg innenfor det som er komfortsone under komfortmodus.

Etter morgendusj er det kun varmtvannsberederen som får være påskrudd av de fleksible lastene. Dette kommer ikke tydelig frem i grafene, men ville fått større konsekvenser ved større varmetap og kaldere uteluft. Temperaturen i glassgården var mellom 21°C og 27,5°C dette døgnet.

Vaskemaskinen fikk stå på uavbrutt, mens tørketrommelen ble avbrutt etter 30 minutter, da det ikke var ledig kapasitet med varmtvannsberederen på samtidig.



Figur 8.8: Resultater Scenario 5

### 8.5.7 Scenario 6

Varmtvannsberederen har tatt opp store deler av den ledige kapasiteten i flere av de tidligere scenariene. Som et resultat har varmelaster måtte vike, og effekttopper over effektgrense har oppstått. Dette gir motivasjon til å styre denne strengere enn tidligere.

Scenario 6 inkluderer smart lading, og bruken av varmtvannsbereder er begrenset til timene utenfor topplasttimer. Effektgrensen er satt til 5 kW.

Tabell 8.8: Scenario 6: Effekt- og energiforbruk

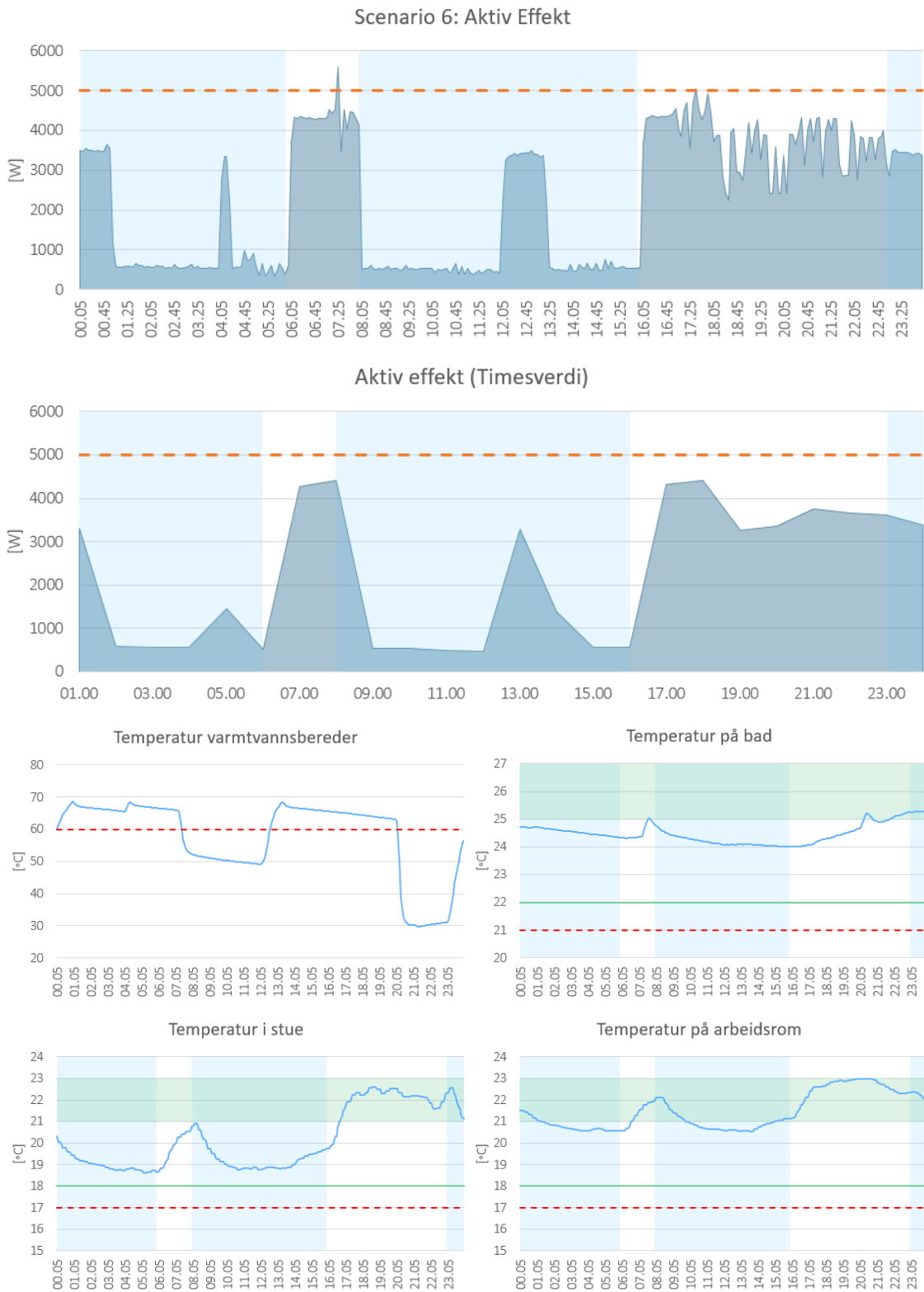
Maksimal effekt	5 615 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	4 418 W
Total energi	59,16 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	20,80 kWh

#### Bemerkninger

Resultatene i figur 8.9 viser grafen for aktiv effekt med globalt maksimum på morgenen. Av de tidligere scenariene har dette kun vært tilfellet én gang tidligere, i scenario 4. Samtidig viser grafen for timesverdier et gjennomsnittsforkbruk på morgenen som er ganske likt forbruket på kvelden. Toppunktene for timesverdiene har alle verdier godt under grensen. Det viser potensialet og gir motivasjon til å redusere effektgrensen.

Til forskjell fra tidligere scenarier med effektgrense på 5 kW eller mindre, er det for første gang ledig kapasitet til alle varmelastene på morgenen. Feil bruk av varmepumpe fører til at temperaturen i stuen ikke når komfort, men viktigere er den tydelige temperaturstigningen som følge av varmelastene her.

Både vaskemaskin og tørketrommel får stå på uavbrutt, da det med en effektgrense på 5 kW og forskjøvet varmtvannsbereder er ledig kapasitet til dette.



Figur 8.9: Resultater Scenario 6

### 8.5.8 Scenario 7

Scenario 7 undersøker konsekvensene av smart lading og forskyvning av varmtvannsbere-der, slik som scenario 6. Forskjellen mellom de to scenariene er den reduserte effektgrensen, redusert til 4 kW.

Tabell 8.9: Scenario 7: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	4 899 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	3 842 W
Total energi	56,15 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	19,36 kWh

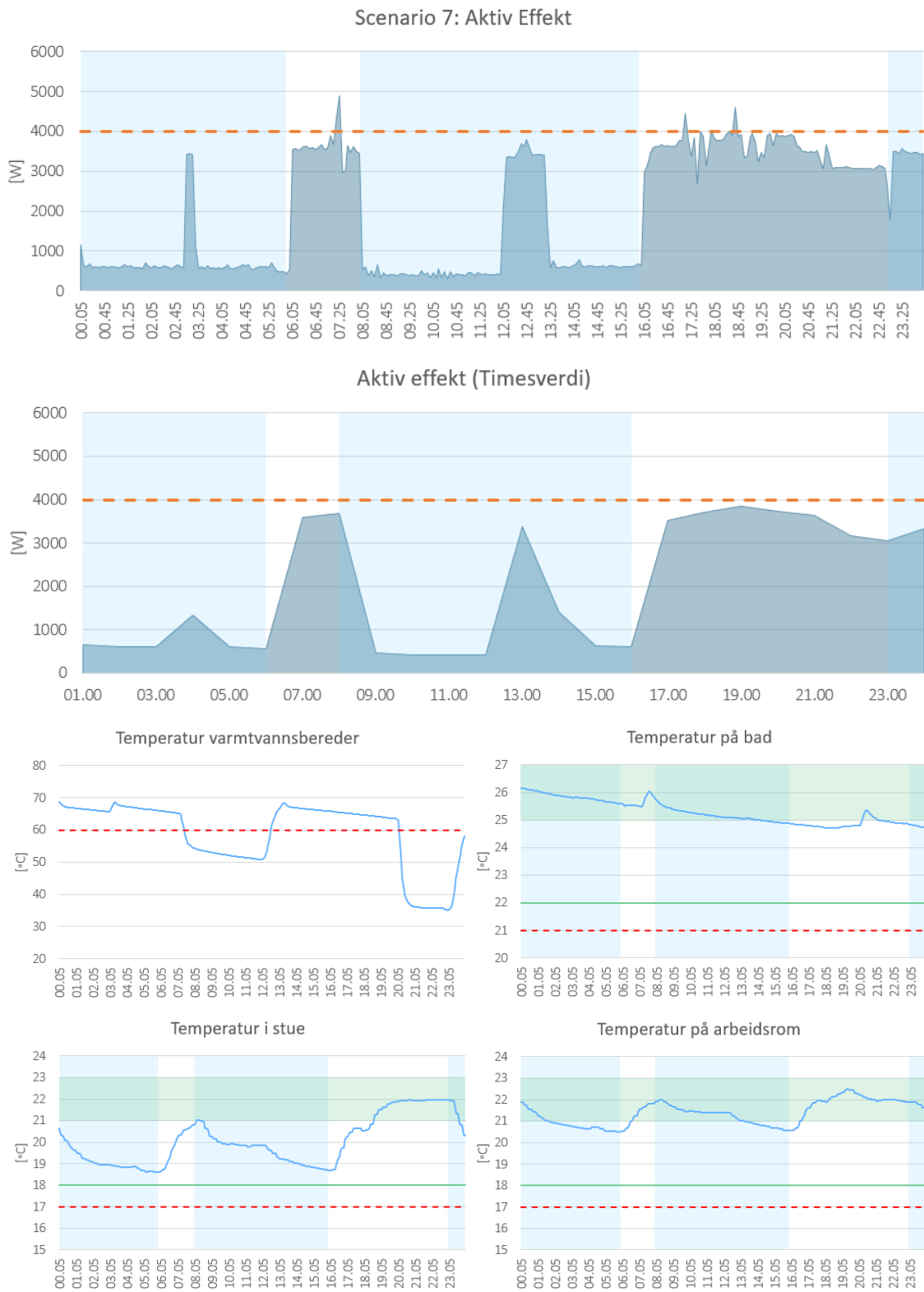
#### Bemerkninger

For aktiv effekt med 5 minutters oppløsning, øverste graf i figur 8.10, er globalt maksimum fortsatt å finne på morgenen. For timesverdiene inntreffer denne på kvelden. Timesforbruket overskrider aldri effektgrensen.

Når lading av elbil er flyttet til natten, og varmtvannsbere-der kun står på utenfor topplast-timer, er det ledig kapasitet til samtlige varmelaster under timene utenfor sparemodus. Unn-taket er når de ikke-fleksible lastene er i bruk. Basert på effektforbruket under effektgrensen, og de mange timene med ledig kapasitet til varmelaster, ser det ut til at 4 kW er et gunstig valg av effektgrense dersom elbillading og varmtvannsbere-der forskyves slik som i dette scenariet.

Slik som i scenario 6 er det relativt høye temperaturer ved inngangen av døgnet, men i samt-lige rom synker temperaturene i løpet av natten. Lufttemperaturene i stue og på arbeidsrom stiger igjen når varmelastene er på, men det er tydelig fra grafene at det ikke er ledig kapasitet til disse omkring klokken 17:30, når både ovn og induksjonstopper er i bruk. Hvorfor tempera-turen på badet er svakt synkende gjennom hele døgnet er uvisst. Temperaturen i glassgården var mellom 20°C og 23°C dette døgnet.

Vaskemaskinen får stå på uavbrutt, mens tørketrommelen avbrytes da laststyringsystemet ønsker å skru på varmelaster.



Figur 8.10: Resultater Scenario 7



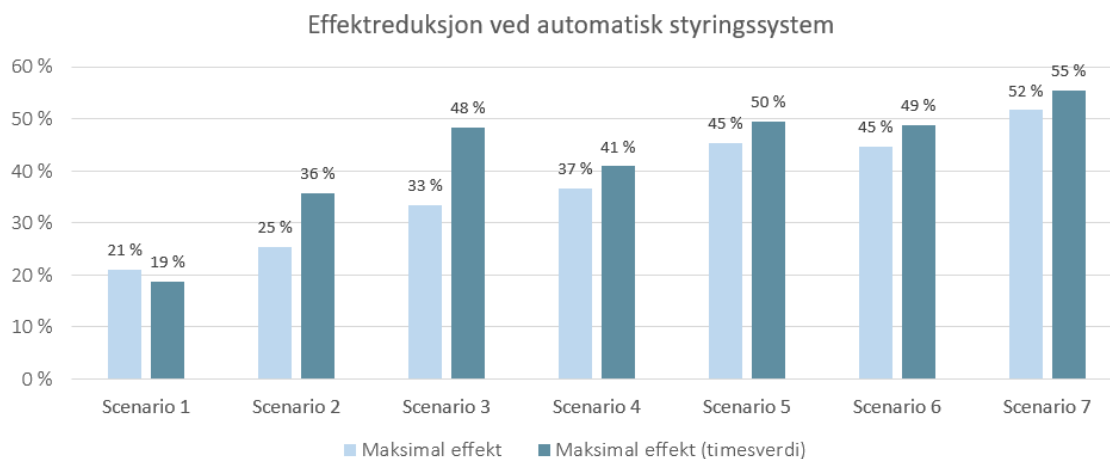
### 8.5.9 Energi- og effektreduksjon

Figur 8.11 og 8.12 illustrerer reduksjonen av henholdsvis maksimal effekt og totalt energiforbruk for de målte scenariene. Besparelsene er beregnet med basisscenario som referanse.

Søylediagrammet for effektreduksjon viser positive resultater ved bruk av det automatiske laststyringssystemet. Trenden i diagrammet er økt reduksjon av maksimal effekt for hvert scenario, som resultat av strengere effektgrenser og/eller ytterligere tiltak. Dette betyr at lastene, og tilhørende effektforbruket, responderer slik det er ønsket med laststyringssystemet. Denne trenden gjelder både for timesverdiene og verdiene av 5 minutters oppløsning.

Fra en ellers økende besparelse er det for timesverdiene to tilfeller med lavere besparelse enn for scenariet før. Dette er først og fremst mellom scenario 3 og 4, og er et resultat av økt effektgrense, fra 4 kW til 5 kW. Tiltaket som skiller disse to scenariene er smart lading av elbil. Dette indikerer at valg av effektgrense hadde en større innvirkning på timesverdiene, enn det smart lading hadde for denne boligen. Påstanden underbygges av endringen mellom scenario 5 og 6, der også det nyinnførte tiltaket med forskjøvet varmtvannsbereder utlignes av den økte effektgrensen fra 4 kW til 5 kW. Den negative endringen mellom scenario 4 og 5 er på den andre siden langt mindre enn endringen mellom scenario 3 og 4. Dette tyder på at tiltaket med forskjøvet bruk av varmtvannsbereder bidrar mer til redusert maksimal effekt, enn det smart lading gjør i disse scenariene.

I scenario 7 er den maksimale effekten redusert med hele 55%, beregnet med timesverdiene. Dette er den største besparelsen av alle scenariene, både av verdiene med 5 minutters oppløsning og timesverdier. Da det per dags dato er timesverdiene som er av størst relevans for fakturering av nettkundene, er dette svært positive resultater.

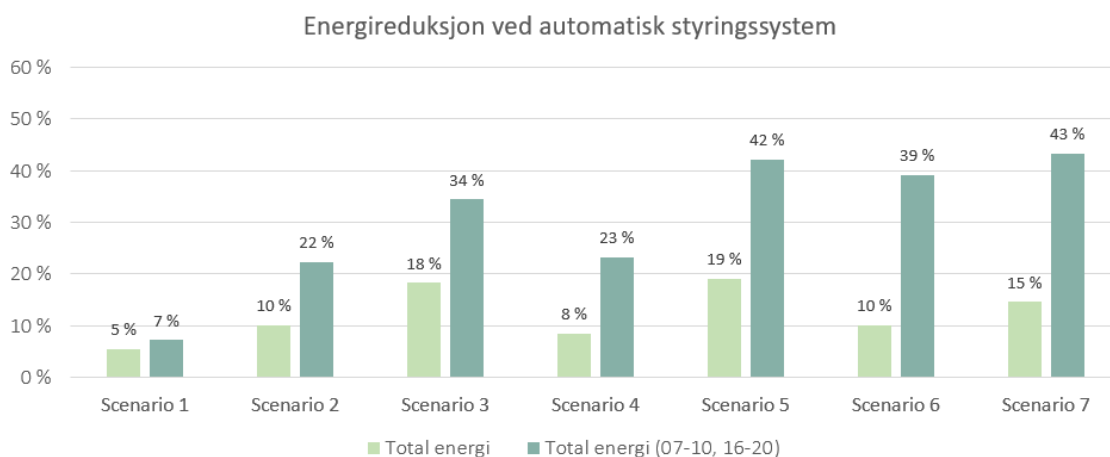


Figur 8.11: Reduksjon i effektforbruk med basisscenariet som referanse

Effektkontrollalgoritmen har ikke blitt designet og utviklet med hensyn til energibesparelse. Likevel er redusert energiforbruk, sammenlignet med basisscenariet, tilfellet for alle etterfølgende scenarier.

For scenariene som følger timeplanen uten ytterligere tiltak, altså basisscenariet og de 3 etterfølgende, øker energibesparelsen for hver strengere effektgrense. Videre er energibesparelsen mindre i scenario 4 enn ved scenario 3. Årsaken ligger i den frigjorte kapasiteten på ettermiddagen som følge av smart lading. Hele energiforbruket til lading av elbil forskyves til natten, men dette gir samtidig rom for andre fleksible laster på ettermiddagen, slik at energi vil likevel forbrukes på denne tiden. Som et resultat øker det totale energiforbruket. Den positive konsekvensen er varmelastene som får stå på dersom nødvendig, og bidra til bedre termisk komfort på ettermiddagen.

Den største reduksjonen av total energi i topplasttimer er på 43%, og er resultatet av tiltak i scenario 7. Scenario 5 følger like etter med sine 42%. For total energi, også utenfor topplasttimer, er den største energireduksjonen også å finne i scenario 5, med lav effektgrense og smart lading.



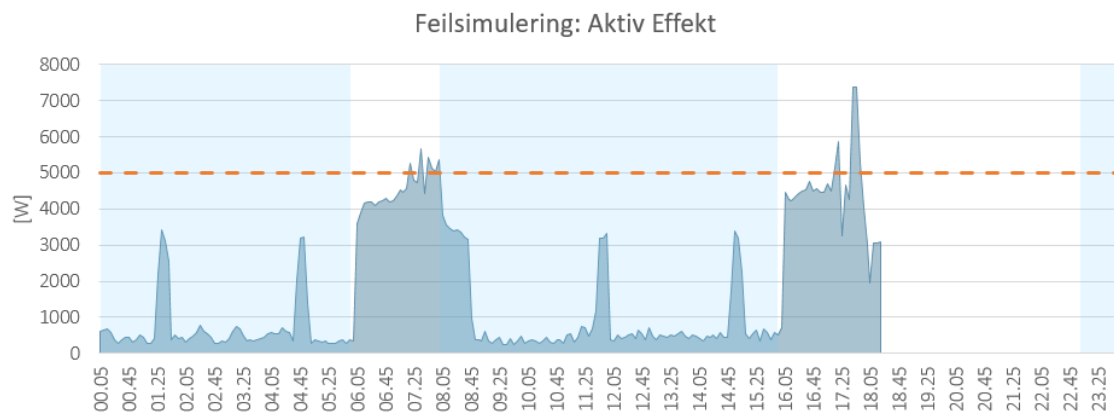
Figur 8.12: Reduksjon i energiforbruk med basisscenariet som referanse

## 8.6 Feil under døgnmåling

Som tidligere påpekt er det viktig å ha en viss forståelse og forventning til hvordan laster, og tilhørende forbruk, skal respondere til laststyringsystemet. I et stadig mer digitalisert samfunn blomstrer systemer som går på automatikk, og minimerer menneskelig involvering. **Men** automatikken kan også feile, og dersom verken datamaskin eller forbruker er i stand til å dekte feilen, kan konsekvensene bli store. Dette gjelder generelt for alle automatiserte prosesser. Konsekvensen av en feil i laststyringsystemet kan typisk være et altfor høyt og uakseptabelt effektforbruk, med påfølgende høy faktura. Et eksempel på dette er illustrert i figur 8.13.

Grafen viser effektforløpet under det som skulle være en døgnsimulering, med en effektgrense på 5 kW. Under forsøket bryter samspillet mellom termostat, relé og algoritme, og resultatet er et effektforbruk over 7 kW. Termostatene skrur på varmelaster som følge av lav temperatur. Laststyringssystemet skal så sende forespørsel om å skru av disse grunnet et effektforbruk over grensen. Som tidligere introdusert har systemet en egen treghet, slik at høye effekttopper kan forekomme, men under denne døgnmålingen skjer det ingen endring før varmelastene må skrues av manuelt. Med feilende effektkontrollalgoritme denne ettermiddagen, ble resultatene misvisende med hensyn til en senere rettferdig sammenligning av resultater. Resultatet ble derfor kastet, og simuleringen gjennomført på ny, med et fungerende system. Erfaring og kunnskap om hvor det kan gå galt i et slikt styringssystem er likevel viktig å ta med seg videre.

Omfanget av en slik feil i et automatisk styringssystem vil variere med forskjellige nettleier, men så lenge nettleien vil være effektbasert, bør løsninger for å unngå dette tilstrebes. Alarmer, både i form av lyd i hjemmet eller melding på telefon, er ett av flere alternativer for å varsle om feil. I tillegg bør forbrukere få innføring i hva som forventes av styringssystemet. En bør ikke stole blindt på automatikken.



Figur 8.13: Effektforbruk ved feilende effektkontrollalgoritme



## 9 Økonomiske betraktninger

Dette kapittelet tar for seg de økonomiske betraktningene rundt effekt- og energiforbruket under de simulerte døgnene. Det er lastbruken under vinterforhold som utfordrer kapasiteten i strømmettet. Med de forslåtte nettleiemodellene presentert i kapittel 3 skal derfor nettleien for en vintermåned beregnes. Det er antatt 31 dager i den aktuelle måneden, som eksempelvis kunne vært januar. I tillegg til RME sine foreslåtte nettleiestrukturer vil nettleien beregnes med Glitre Energi Nett AS sin egen *Smart nettleie*.

Nettleie vil i dette kapittelet beregnes uten offentlige avgifter. Offentlige avgifter innebærer merverdiavgift, forbrukeravgift og avgift til Energifondet, også kalt Enovafondet. Avgiftene, i sammenheng med energibesparelse, drøftes nærmere under kapittel 9.3.

### 9.1 Beregning av månedlig nettleie - Modeller og priser fra NVE

Prisene som vil bli benyttet i utregningen av månedlig nettleie for de ulike tariffmodellene, er de samme som oppgitt og benyttet i RME sine beregninger i høringsdokumentet. En oversikt over disse prisene er gitt i følgende tabell 9.1. Enhetene i tabellen er også de samme som i høringsdokumentet. Påslaget, i kr/(kWh/h), er med annen formulering et effektledd, beregnet som timesgjennomsnitt.

Tabell 9.1: Nettleiepriser fra RME

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
<b>Fastledd del 1 [kr/år]</b>	2046	1350	1850	1750
<b>Fastledd del 2 [kr/år/kW]</b>		675		343
<b>Energipris [kr/kWh]</b>	0,1859	0,05	0,05	0,05
<b>Påslag på energiledd/ effektpris [kr/kWh/h]</b>		1	1,49 (sommer) 2,25 (vinter)	

Den eneste tidsdifferensiering av energileddet som inkluderes i de forslåtte modellene er et høyere energiledd ved forbruk over abonnert effekt. Virkningen av tidsdifferensiert energiledd med hensyn til topplasttimer ønskes også undersøkt. Husholdningenes lastkurver varierer fra bolig til bolig. Dette gjelder også når de individuelle topplasttimene inntreffer. Det vil på den andre siden være hensiktsmessig for nettselskapene å innføre tidsdifferensiert energiledd når det aggregerte forbruket er høyest. På landsbasis vil det aggregerte forbruket typisk vise til én topp et par timer på morgenen, og én topp på ettermiddagen/kvelden. Under disse

økonomiske betraktninger vil derfor energileddet også differensieres i timene 07-10 og 16-20. Prisen på energileddet i disse timene er satt til 0,25 kr/kWh. Dette er en økning på 20 øre/kWh, som tilsvarer en femdobling av energiprisen utenfor toppplasttimene. Økningen er ikke veldig forskjellig fra prisen Glitre Energi Nett bruker som incentiv i sin *smarte* nettleie, som vi senere vil se og beregne på. Det må i abonnert effekt tas høyde for overforbruk under toppplasttimene. Prisøkningen på dette påslaget vil også være 20 øre/kWh/h.

For hvert scenario vil det presenteres 3 tabeller. Den første tabellen er en gjentakelse av nøkkeltallene fra hvert scenario, som legger grunnlaget for beregning av nettleiene. Den neste tabellen vil representere utregnede nettleier uten tidsdifferensiert energiledd, først beregnet basert på timesverdier, etterfulgt 5 minutters oppløsning. Den siste tabellen er nettleien inkludert tidsdifferensiert energiledd, basert på timesverdiene. Prisen for energien i toppplasttimene er som nevnt 0,25 kr/kWh, med påslag på 1,20 kr/kWh/h for overforbruk ved abonnert effekt.

### Bemerkninger

- Den første bemerkingen gjelder antagelsen ved sikringsdifferensiert nettleie. Her antas det at sikringsstørrelsen er lik målt maksimal effekt, rundet opp til nærmeste kWh. Denne kan være forskjellig innenfor ett og samme scenario, ut ifra hvilken oppløsning beregningene baserer seg på.
- I flere av scenariene var styringssystemet nødt til å avbryte lading av elbil. Grafene presentert i kapittel 8 inkluderte ikke energiforbruket fra den resulterende natteladingen, men dette forbruket er som tidligere nevnt inkludert i de presenterte nøkkeltallene. Når de økonomiske konsekvensene av tariffmodellene nå skal regnes ut, er det viktig at denne energien er inkludert for et rettferdig beregningsgrunnlag.

### Basisscenario

Tabell 9.2: Basisscenario: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	10 131 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	8 614 W
Total energi	65,75 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	34,17 kWh

Tabell 9.3: Basisscenario: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	549,4 kr	833,2 kr	856,9 kr	505,0 kr
5 min	549,4 kr	833,1 kr	962,7 kr	562,2 kr

Tabell 9.4: Basisscenario: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
1 045,0 kr	1 068,8 kr	716,9 kr

## Scenario 1

Tabell 9.5: Scenario 1: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	8 008 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	7 005 W
Total energi	62,15 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	31,71 kWh

Tabell 9.6: Scenario 1: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	528,6 kr	602,7 kr	738,7 kr	442,2 kr
5 min	528,6 kr	612,7 kr	809,0 kr	470,8 kr

Tabell 9.7: Scenario 1: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
799,3 kr	935,3 kr	638,8 kr

## Scenario 2

Tabell 9.8: Scenario 2: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	7558 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	5 540 W
Total energi	59,10 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	26,57 kWh

Tabell 9.9: Scenario 2: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	511,1 kr	501,3 kr	632,2 kr	408,9 kr
5 min	511,1 kr	531,8 kr	773,1 kr	466,1 kr

Tabell 9.10: Scenario 2: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
666,0 kr	797,0 kr	573,7 kr

## Scenario 3

Tabell 9.11: Scenario 3: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	6 742 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	4 445 W
Total energi	53,71 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	22,41 kWh



Tabell 9.12: Scenario 3: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	480,0 kr	442,9 kr	547,5 kr	372,0 kr
5 min	480,0 kr	469,0 kr	707,7 kr	429,2 kr

Tabell 9.13: Scenario 3: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
581,8 kr	686,4 kr	510,9 kr

#### Scenario 4

Tabell 9.14: Scenario 4: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	6 430 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	5 093 W
Total energi	60,14 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	26,22 kWh

Tabell 9.15: Scenario 4: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	517,1 kr	489,7 kr	602,6 kr	410,5 kr
5 min	517,1 kr	497,2 kr	695,8 kr	439,1 kr

Tabell 9.16: Scenario 4: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
652,3 kr	765,2 kr	573,1 kr

## Scenario 5

Tabell 9.17: Scenario 5: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	5 543 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	4 350 W
Total energi	53,23 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	19,76 kWh

Tabell 9.18: Scenario 5: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	477,2 kr	430,3 kr	540,1 kr	371,2 kr
5 min	477,2 kr	440,9 kr	623,1 kr	399,8 kr

Tabell 9.19: Scenario 5: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
552,8 kr	662,6 kr	493,7 kr

## Scenario 6

Tabell 9.20: Scenario 6: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	5 615 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	4 418 W
Total energi	59,16 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	20,80 kWh

Tabell 9.21: Scenario 6: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	511,4 kr	485,4 kr	554,2 kr	380,4 kr
5 min	511,4 kr	487,1 kr	637,9 kr	409,0 kr

Tabell 9.22: Scenario 6: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
614,4 kr	683,1 kr	509,4 kr

## Scenario 7

Tabell 9.23: Scenario 7: Effekt- og energiforbruk

Maksimal effekt	4 899 W
Maksimal effekt (Timesverdi)	3 842 W
Total energi	56,15 kWh
Total energi (07-10, 16-20)	19,36 kWh

Tabell 9.24: Scenario 7: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
60 min	494,1 kr	424,5 kr	509,0 kr	347,2 kr
5 min	494,1 kr	430,1 kr	583,0 kr	375,8 kr

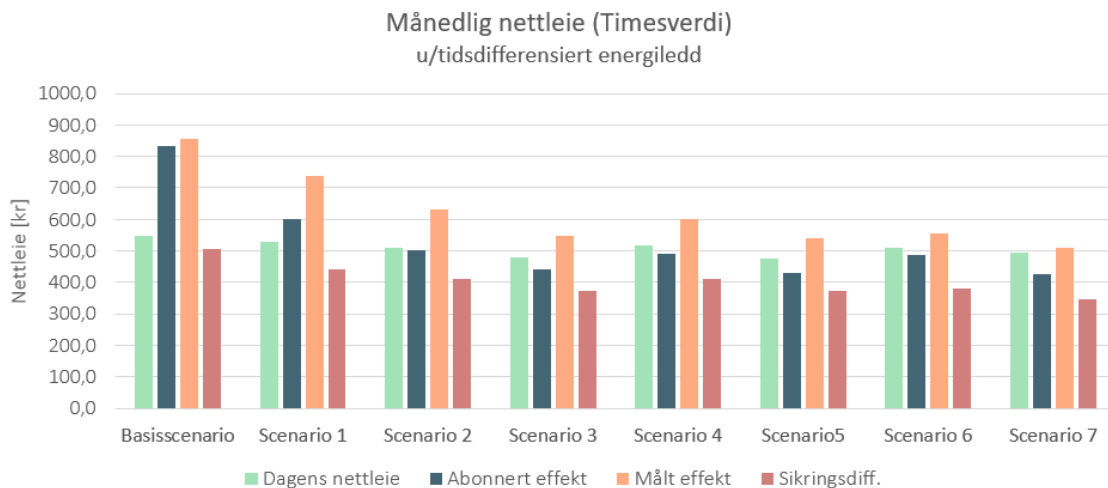
Tabell 9.25: Scenario 7: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

<i>Abonnert effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>
544,5 kr	629,1 kr	467,2 kr

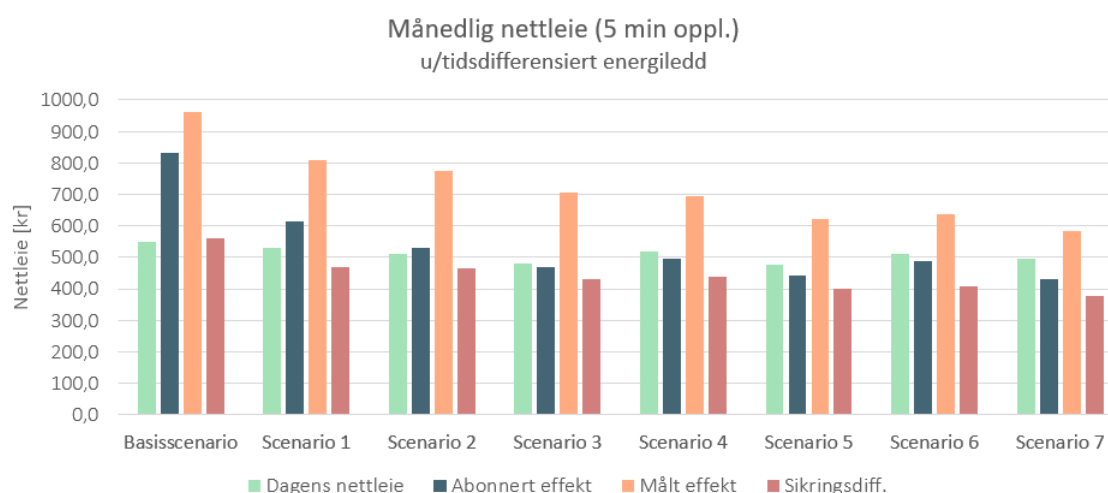
### 9.1.1 Kostnadsbesparelser

Ved sammenligning viser resultatene i diagram 9.1 til en billigere nettleie ved bruk av timesverdier enn ved 5 minutters oppløsning, som illustrert i diagrammet i figur 9.2. Dette gjelder for samtlige scenarier og nettleiemodeller. Dette er som forventet da nettleie basert på kortere oppløsning vil være mer sensitiv til avvik i målt maksimal effekt. På det meste er prisforskjellen på 160,2 kr. Dette er tilfellet ved scenario 3 og nettleiemodell målt effekt. De to diagrammene illustrer samtidig at det generelt er modellen målt effekt som er mest sensitiv til valg av oppløsning. Dette ser vi ved at prisøkningen alltid er størst for denne modellen når oppløsningen endres fra 60 til 5 minutter.

Diagrammet i figur 9.1 illustrerer at sikringsdifferensiert nettleie er den effektbaserte nettleien som uavhengig av scenario har lavest kostnader, etterfulgt av abonnert effekt. Den laveste nettleien av alle de illustrerte tildeles derfor kunden med sikringsdifferensiert nettleie, med en effektgrense og tiltak som i scenario 7. Nettleien basert på sikringsstørrelse er også lavere enn samtlige nettleier beregnet med dagens energibaserte modell.



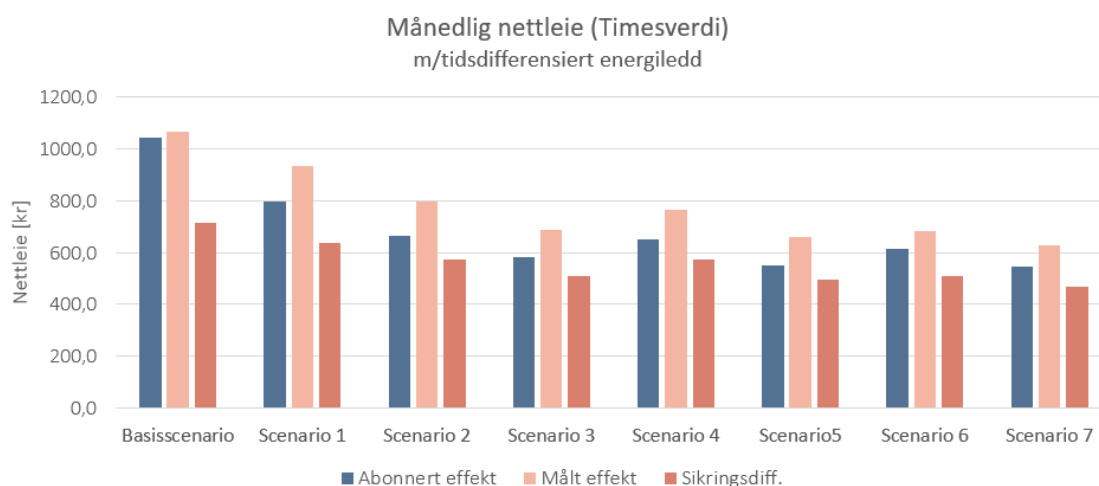
Figur 9.1: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd



Figur 9.2: Månedlig nettleie eks. tidsdifferensiert energiledd

Figur 9.3 illustrerer beregnet nettleie inkludert tidsdifferensiert energiledd, basert på timesverdiene. Prisøkningen fra nettleie uten tidsdifferensiert energiledd til med, er alltid den samme innenfor hvert scenario, uavhengig av nettleiemodell da energimengde ikke avhenger av nettleie. Den største økningen i pris er ved basisscenario. Fra nøkkeltallene under kapittel 8 viser trenden til et minkende energiforbruk under toppplasttimene utover i scenariene. Det resulterer her i den største økningen og dyreste nettleien for scenariet uten automatisk laststyringsystem. Økningen beregnes til 211,9 kr, til en total nettleie på 856,9 kr ved nettleiemodellen målt effekt.

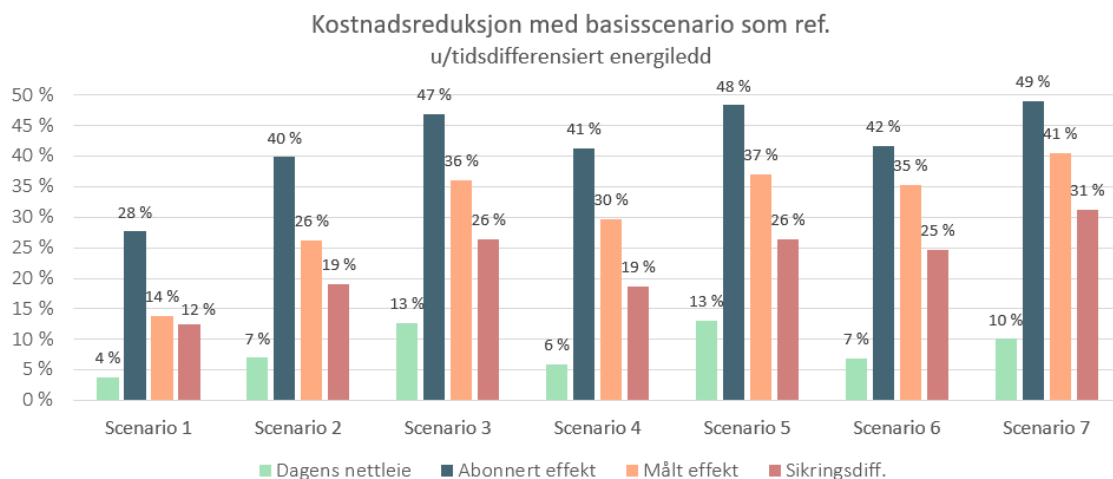
Nettleien minker for hvert scenario effektgrensen settes ned, og øker for hvert scenario effektgrensen settes opp igjen.



Figur 9.3: Månedlig nettleie inkl. tidsdifferensiert energiledd

I diagrammet i figur 9.4 er kostnadsbesparelsene beregnet for alle scenariene, med basis scenariet som referanse. Dette er hva beboerne i Smarthuset kan forvente å spare dersom de implementerer et automatisk styringssystem etter overgangen til effektbasert nettleie. Den største besparelsen er på hele 49%, og vil være tilfellet dersom nettselskapet som leverer strøm til Smarthuset har nettleie basert på abonnert effekt. Besparelsen på 49% inntreffer ved scenario 7, som samtidig er scenariet som gir størst besparelse for målt effekt og sikringsdifferensiert nettleie, sammenlignet med de tidligere scenariene. Scenario 7 innebærer lavest effektgrense, smart lading og forskjøvet bruk av varmtvannsbereder, og det er derfor tydelig at kombinasjonen av tiltak gir størst gevinst.

Et tilsvarende diagram for besparelser inkludert tidsdifferensiert energiledd ville gitt forskjellige prosentverdier, men samme forhold mellom de forskjellige scenariene og nettleiene som diagrammet her.

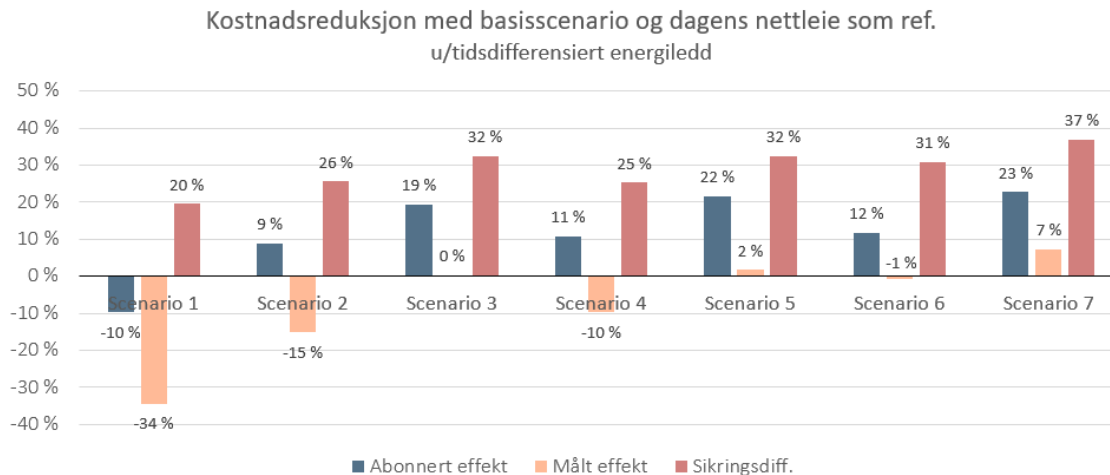


Figur 9.4: Kostnadsendring med basisscenarioet som referanse.

Det er mange innvendinger til de forslåtte nettleiemodellene. Det er derfor av interesse å se den totale endringen ved innføring av effektbasert nettleie i kombinasjon med laststyringssystem som tiltak.

I diagrammet nedenfor er nettleiene beregnet for hvert scenario, og sammenlignet med 549,4 kr, som er hva beboerne i Smarthuset hadde betalt med dagens energibaserte nettleie uten laststyringssystem. Diagrammet viser at man ved innføring av abonnert effekt vil være garantert besparelse dersom tiltaket er strengere enn en effektgrense på 7 kW, som var effektgrensen under scenario 1. For sikringsdifferensiert nettleie er besparelse garantert uansett tiltak. Utfordringen som her blir synlig er ved nettleiemodellen målt effekt. Av alle scenarioene undersøkt her, gir målt effekt kun besparelse 2 scenarier, og besparelsen er i tillegg liten i disse tilfellene.

Et tilsvarende diagram for besparelser inkludert tidsdifferensiert energiledd ville vist til en økt nettleie som resultat av det økte energileddet, og ingen besparelse uansett scenario og nettleiemodell.



Figur 9.5: Kostnadsendring med basisscenarioet og dagens nettleie som referanse.

## 9.2 Beregning av månedlig nettleie - Modell og priser fra Glitre Energi Nett AS

Glitre Energi Nett AS gjennomfører nå et pilotprosjekt for alle sine husholdningskunder med installert AMS-måler. Tilbudet om å ta del i pilotprosjektet er gitt til hele 75 000 kunder, og kun et fåtall har reservert seg. Dette kommer frem i samtale med Knut Olav Bakkene fra selskapet, se vedlegg B.3. I den samme e-posten formidles det et ønske om å unngå selve effekt-leddet i faktureringen av husholdningskunder, men heller bruk av et sikringsbasert fastledd og et energiledd basert på "*Time of use (ToU) med gulrot*". I praksis betyr dette at de ønsker å incentivere husholdningskunder til å flytte forbruket til tider med ledig kapasitet gjennom belønning fremfor straff. De ønsker billigere energiledd utenfor topplasttimer fremfor dyre konsekvenser dersom husholdningens effekttopp sammenfaller med strømmnettets. Det er nettopp denne løsningen pilotprosjektet bygger på.

Følgende nettleiepriser for pilotprosjektet er hentet fra GEN sin egen hjemmeside [43]:

Tabell 9.26: Glitre Energi Nett AS: Nettleiepriser - 2020

	Inkl. offentlige avgifter	Eks. offentlige avgifter
<b>Fastledd</b>	1 250 kr/år	1 000 kr/år
<b>Energiledd vinter (okt - mars)</b>	49,70 øre/kWh	22,63 øre/kWh
<b>Reduksjon energiledd kl. 22-06 (nov - mars)</b>	-14,0 øre/kWh	11,43 øre/kWh
<b>Energiledd sommer (april - sept)</b>	47,45 øre/kWh	20,83 øre/kWh

Prisoversikten på hjemmesiden inkluderte offentlige avgifter. Med hensikt i å sammenligne med NVEs foreslåtte modeller, ble nettleieprisene beregnet også uten disse. Offentlige avgifter innebærer merverdiavgift (mva), forbruksavgift og avgift til Enovafondet [43]. For husholdningskunder er forbruksavgiften og avgift til Enovafondet oppgitt til henholdsvis 16,13 øre/kWh og 1 øre/kWh, ekskludert mva på 25%. Energileddene uten offentlige avgifter ble dermed beregnet ved følgende formel, formel 5.

$$\text{Energiledd eks. avgifter [øre/kWh]} = \frac{\text{Energiledd inkl. avgifter}}{1,25} - (1 + 16,13) \quad (5)$$

Tabell 9.27 lister de resulterende nettleiekostnadene for samtlige scenarier.

Tabell 9.27: Månedlig nettleie beregnet med GEN sin smarte nettleie.

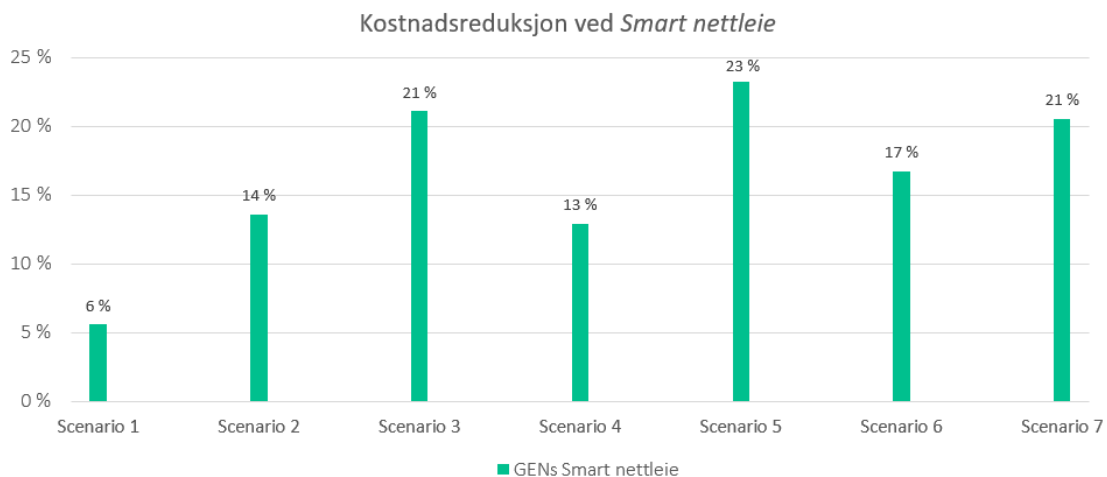
Scenario	Smart Nettleie
Basisscenario	515,3 kr
Scenario 1	486,6 kr
Scenario 2	445,2 kr
Scenario 3	406,7 kr
Scenario 4	448,9 kr
Scenario 5	395,6 kr
Scenario 6	429,1 kr
Scenario 7	409,6 kr



Tabellen viser lavest nettleie for scenario 5, etterfulgt av scenario 3 og 7. Felles for disse scenariene er en effektgrense på 4 kW. Dette begrenser det totale energiforbruket per time gjennom hele døgnet, og dermed også i timene 06-22. Den smarte nettleien gir priser som kan måle seg med de laveste kostnadene beregnet med NVE sine foreslåtte nettleiemodeller.

### 9.2.1 Kostnadsbesparelser

Prosentene i figur 9.6 er beregnet kostnadsbesparelse for hvert scenario, med basisscenariet som referanse. Den illustrerer derfor prosentvis besparelse ved implementering av automatisk laststyringssystem, dersom nettleiemodellen er slik som GEN sin smarte nettleie. Den største besparelsen inntreffer naturligvis ved scenario 5, da det ved dette scenariet er beregnet lavest nettleie. Den potensielle kostnadsreduksjonen ved det implementerte laststyringssystemet viser seg her å være på 23%.



Figur 9.6: Kostnadsendring ved *smart* nettleie, med basisscenariet som referanse.

### 9.3 Merverdiavgift, forbrukeravgift og Enovafondet

Både i høringsdokumentet og på flere av nettselskapenes egne nettsider informeres det om den tredelte strømregningen, bestående av nettleie, kraftpris og offentlige avgifter. Med et årsforbruk på 20 000 kWh, som er gjennomsnittet for husholdninger på landsbasis, regner Glitre Energi Nett seg frem til en fordeling av strømkostnader, der offentlige avgifter dekker 40% [43].

Forbruksavgift og avgift til Enovafondet er faste kostnader per kWh. Avgifter som avhenger av energiforbruk betyr teoretisk sett at det er større økonomiske besparelser enn beregnet uten disse, med den betingelse at det totale energiforbruket minker. Det automatiske styringssystemet hadde som hovedfunksjon å redusere effekttopper, og en besparelse av totalt

energiforbruk var ikke lagt inn som motiv. Som presentert i kapittel 8 var resultatet av strenge effektgrenser likevel minkende energiforbruk, og de økonomiske besparelsene ville derfor også vært større her dersom de nevnte avgiftene var inkludert i beregningen.

Merverdiavgiften er 25% av nettleien, både av faste kostnader og kostnader avhengig av forbruk. Et minkende energiforbruk fører ikke nødvendigvis til økonomiske besparelser ved effektbasert nettleie. Når avgiften regnes som prosent er det derfor ikke energi spart som er beregningsgrunnlaget, men heller en besparelse i nettleien i seg selv. Enkelt forklart vil en billigere nettleie bety en mindre sum å betale avgifter av.

#### 9.4 Tilbakebetalingstid

Hovedformålet med denne besvarelsen er å evaluere det automatiske styringssystemet som sluttbrukertiltak for å redusere effekttopper. En reduksjon av effekttopper skal gagne nettselskapene og kundene som et fellesskap, og med ny nettleiestruktur skal enkeltkunden som bidrar belønnes direkte gjennom billigere faktura.

Fra et kundeperspektiv er økonomisk besparelse et viktig incentiv til å kjøpe styringssystemet som et produkt. Redusert nettleie bør derfor være styringssystemets viktigste funksjon for å få kunden interessert. Videre i kapitlet vil det bli presentert komponenter som har til hensikt å forskyve laster for en flattere forbruksprofil, slik som den testede effektkontrollalgoritmen. Dette er komponenter som allerede finnes på markedet, og dagens markedsverdi er derfor benyttet i beregningen av tilbakebetalingstid. Dersom NVE har rett, vil smarthusteknologien ha en økende markedsandel de neste årene, og det er lov å håpe at konkurranse i markedet vil presse prisene noe ned. *Tilbud og etterspørsel* er en sentralt teori innen mikroøkonomien, og omhandler prisdannelse i markeder med fri konkurranse. Dersom tilbudet øker mer enn forespørselen, skal prisen på smarthusteknologi minke ifølge denne teorien.

Effektkontrollalgoritmen som er designet i denne oppgaven inkluderer styring av en kombinasjon av laster, i et komplekst samspill mellom komponenter over et buss-system. Investeringskostnaden for å muliggjøre denne styringen av laster i Smarthuset er så høy at det ikke er av interesse å regne på tilbakebetalingstid. Det selges likevel enkeltkomponenter som har til hensikt å styre deler av forbruket, eller bidra til å gjøre det lettere for forbruker å styre manuelt, for eksempel via internett. Under er noen av markedets alternativer introdusert, og tilbakebetalingstiden ved innkjøp av disse er så regnet ut, med nettleiebesparelse som beregningsgrunnlag.

##### *Sikom*

Sikom har utviklet en rekke produkter som bidrar som effektreduserende tiltak. For å ta kontroll over varmtvannsbereder, nedstøpte varmekabler og varmemefolie leverer de følgende fire produkter; 1 *Gateway* som knytter det hele sammen, 1 *Eco Energy Controller* som henter data fra AMS-måleren, 1 *Eco Node Tech Relay* for styring av varmtvannsberederen og 1 *Eco Thermostat* til hver gulvvarme. I vårt tilfelle trenger vi altså fire slike termostater.

Den samlede prisen for disse komponentene er 12 266 kr [44].

### *Tibber*

Tibber tilbyr det de selv kaller "*markedets lekreste og smarteste elbil-lader*", i kombinasjon med Tibber Pulse, som gir deg enkel tilgang til ditt eget strømforbruk i sanntid. Ladestasjonen kan lade som 1- eller 3-fase, med effekt fra 1,4 kW til 22 kW. Den totale investeringskostnaden for de to komponentene er 7 590 kr [45].

I tillegg til smart styring av elbillader, vil det i investeringskostnaden inkluderes smart styring av gulvvarme levert av Futurehome, men til salgs hos Tibber. Dette er en startpakke som inkluderer én gateway og 3 termostater, og kostnaden for denne alene er 6 495 kr. Da vi i smarthuset styrer temperatur i 4 soner, vil det være behov for en ekstra termostat. Prisen på denne er 1 395 kr [46], og den totale investeringskostnaden for systemet vil nå være 15 480 kr.

#### **9.4.1 Nåverdimetoden**

Tilbakebetalingstid er tiden det tar før kumulativ kontantstrøm tilsvarer den initielle investeringskostnaden. Til tross for at kontantstrømmen er den samme for hvert år, vil ikke verdien av denne være den samme om 10 år som i dag. Dette kommer hovedsakelig av tre grunner; alternativkostnad, diskonteringsrente og inflasjon, alle hensyntatt i formelen for netto nåverdi (NNV). Fremtidige kontantstrømmer diskonteres derfor tilbake til dagens verdi, når investeringen er gjort, for å evaluere lønnsomheten. Tilbakebetalingstiden er tiden når NNV er lik null, gitt i formel 7.

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Årligkontantstrøm}} \quad (6)$$

$$\text{NNV} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (7)$$

hvor

$I_0$  er den opprinnelige investeringskostnaden ved år 0

$C_t$  er kontantstrømmen i år  $t$

$r$  er diskonteringsrenten

Finansdepartementet oppgir en diskonteringsrente på 4%, som benyttes i analyser av statlige tiltak for de neste 40 årene [47]. Den samme renten vil derfor bli brukt i beregningene her.

## 9.4.2 Resultater

De foreslåtte produktene fra Sikom og Tibber muliggjør styring av varmelaster, elbillader og varmtvannsbereder. Tilbakebetalingstiden ved kjøp av disse beregnes basert på de økonomiske besparelsene for scenario 5, med smart lading. Sikom inkluderer styring av varmtvannsbereder i sin investeringskostnad. Hvis det samtidig antas at lading av elbil kan foregå smart uten store investeringskostnader er tilbakebetalingstiden ved scenario 7, med smart lading og streng bruk av varmtvannsberederen, som beregnet i tabell 9.28.

Tabell 9.28: Tilbakebetalingstid [år]

	<i>Dagens nettleie</i>	<i>Ab. effekt</i>	<i>Målt effekt</i>	<i>Sikringsdiff.</i>	<i>Smart nettleie</i>
Scenario 5					
Sikom varmestyring	> 60	6	8	17	30
Tibber ladestasjon	31	4	5	10	15
Tibber ladestasjon + varmestyring	> 60	8	10	26	51
Scenario 7					
Sikom varmestyring	> 60	6	7	15	38

Beregningene av tilbakebetalingstid i tabell 9.28 viser at abonnert effekt har kortest tilbakebetalingstid av alle nettleiemodellene. Dette kommer av den høye besparelsen fra effektkontrollalgoritmen som reduserer nettleien for abonnert effekt fra 833 kr i basisscenario til 441 kr i scenario 5, og til 430 kr i scenario 7. Det vil altså lønne seg mest for kunder med abonnert effekt å kjøpe produktene presentert her. Samtidig ser vi at tilbakebetalingstiden er relativt kort også for kunder med målt effekt, mens det ved sikringsdifferensiert nettleie og GEN sin smarte nettleie tar lengre tid før kostnaden av produktene er tilbakebetalt. For kundene med de sistnevnte nettleiene er dette på én måte negative resultater, men det må samtidig understrekes at selve nettleien[kr] beregnet med disse modellene er generelt lavere enn ved abonnert og målt effekt.

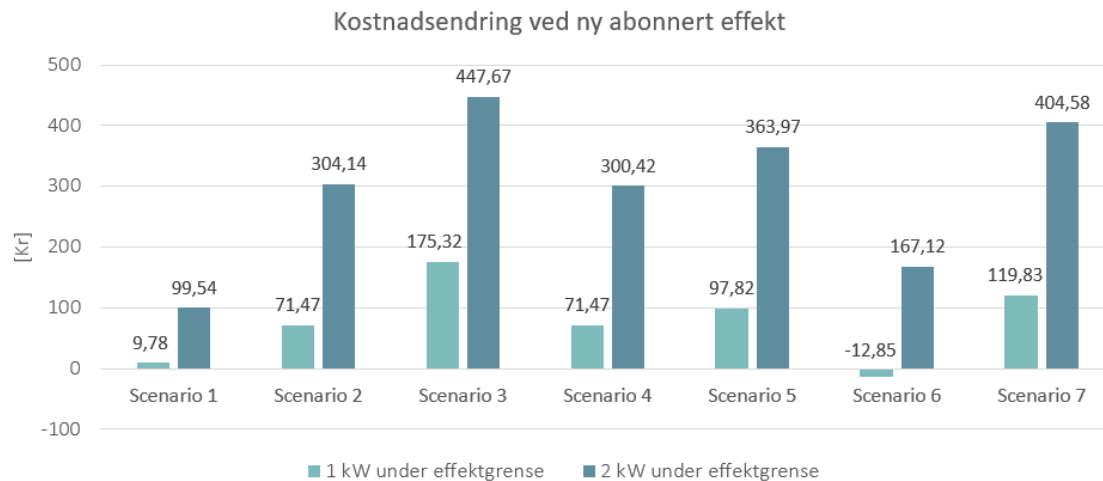
Med dagens nettleie vil tilbakebetalingstiden være lengre enn 60 år for flere av kjøpene. Dette underbygger argumentet om effektbasert nettleiestruktur som en forutsetning for lønnsomheten til slike laststyringsprodukter og systemer.

Besparelsene kan ikke antas å være de samme under sommermånedene, og årlig kontantstrøm er derfor kun antatt for 6 vintermånedene i løpet av året. Dette betyr at det ikke er inkludert økonomiske besparelser på sommerhalvåret i beregningene, men da det er flere sesongavhengige laster inkludert i styringssystemet er det ikke sikkert at dette er tilfellet. Ved besparelser hele året vil tilbakebetalingstiden reduseres.

## 9.5 Valg av abonnert effekt med hensyn til systemets effektgrense

I alle økonomiske beregninger hittil har abonnert effekt [kW] vært den samme som styrings-systemets effektgrense for hvert scenario. Med den antagelse har det vært interessant å undersøke om en abonnert effekt lavere enn systemets effektgrense hadde resultert i besparelser, eller økte kostnader. En lavere effektgrense medfører naturlig nok et større overforbruk, men dersom kostnaden av overforbruket er lavere enn kostnaden av ekstra kilowatt abonnert effekt, vil dette være lønnsomt. Dersom kostnaden av økt overforbruk er større enn kostnaden av en eller to kilowatt abonnert effekt, vil ikke dette være lønnsomt.

Figur 9.7 illustrerer kostnadsendringene ved å redusere abonnert effekt med 1 og 2 kW under systemets effektgrense. Nettleien med en abonnert effekt lik systemets effektgrense er referansen. Beregningsgrunnlaget er forbruket målt som timesverdier.



Figur 9.7: Resultat av abonnert effekt forskjellig fra systemets effektgrense

Figuren illustrerer tydelig at kostnaden er positiv ved å senke abonnert effekt under systemets effektgrense for de fleste scenarier. Dette betyr at det for de fleste scenarier i denne besvarelsen, ikke vil være lønnsomt å abonnere på et lavere effektuttak, enn det som er satt som systemets effektgrense. Dette betyr ikke at økte kostnader er tilfellet for alle slike laststyrings-systemer. Om abonnert effekt til enhver tid bør være ekvivalent med systemets effektgrense bør undersøkes for andre tilfeller, da det *kan* være et innsparingspotensialet her.



## 10 Diskusjon

### 10.1 Valg av effektgrense

Innføring av effektbaserte tariffer vil øke behovet for informasjonsutveksling mellom nettselskap og kunde, nettopp fordi det ikke er uvanlig å synes det er vanskelig å skille mellom begrepene *energi* og *effekt*. Informasjon for å øke den generelle forståelsen for de nye nettleiemedellene er viktig for en vellykket omlegging, så vel som individuell informasjon om hvordan hver enkelt husholdning kan og bør respondere til endringen. Forventet forbruk, veiledende for valg av effektgrense, er eksempel på slik informasjon som bør deles med kunden, og med datamengden fra AMS-målerne bør det etter analyse være mulig å predikere effektforbruket med god nøyaktighet. Samtidig ser vi nå at forventet forbruk må ses i sammenheng med laststyringssystemet, dersom dette skal benyttes som sluttbrukertiltak. Ved bruk av et slikt system vil ikke lengre historisk data være like dominerende i valg av effektgrense, men heller lastene i hver husholdning. Gjennom denne besvarelsen er det kartlagt en rekke laster som egner seg som fleksible, men selv om Smarthuset er innredet som en konvensjonell norsk leilighet, vil både varmesystemer, hvilke laster og antall variere fra husholdning til husholdning. Også nytteverdien vil variere, typisk for forskjellige typer boliger. En hytte eller et gammelt hus vil ha større behov for varmelaster enn de nyeste boligene, med økt isolasjon og lave varmetap. Det er derfor ikke en fasit på hva som bør være dimensjonerende for effektgrensen, men erfaringen fra effektmålingene gir likevel en pekepinn.

Først og fremst vil summen av effekt fra de ikke-fleksible lastene som typisk er i bruk på én gang være garantert å inntreffe. Slik styringssystemet fungerer vil varmelastene skru seg av dersom det ikke er nok ledig kapasitet, og prioriteringen av disse er lave. Hvor raskt innetemperaturen reagerer på manglende varmelaster gir en indikasjon på hvorvidt disse bør hensyntas i valg av effektgrense. Samtidig ble det tydelig fra simuleringene at det store deler av døgnet var nok ledig kapasitet til varmelasten av høyest prioritet. Dette til tross for lav effektgrense, da de mest effektkrevende ikke-fleksible lastene kun er i bruk samtidig en begrenset periode. Med dette i bakhodet, og med ønske om å utnytte maksimal fleksibilitet, kan det være gunstig å dimensjonere systemet etter de ikke-fleksible lastene.

### 10.2 Komfortbetingelser

Betingelser knyttet til komfort er essensielt når varmelaster inkluderes som fleksible i et styringssystem. Under simuleringene er det generelt opprettholdt en god komfort i stue og arbeidsrom. På bakgrunn av imitert varmetap, og derfor noe konstruerte temperaturer, er det like interessant å se på temperaturstigningen som selve temperaturen. Til tross for lave effektgrenser ser man at varmelastene får ledig kapasitet til å varme opp leiligheten. Dette er også et resultat av å sette varmelastene som høy prioritet. Timene utenfor sparemodus på morgenen gir tydelig temperaturløft i samtlige scenarier. Samtidig når ikke temperaturen opp til det som er definert som komfort. Natt- og dagsenking bidrar til energireduksjonen, og det er derfor ønskelig å beholde dette. Løsningen for komfort på morgenen kan dermed være å avslutte sparemodus tidligere. Som tidligere introdusert vil temperaturendringen avhenge av

boligens termiske masse og inneboende treghet, slik at tiden til oppvarming bør bestemmes med hensyn til dette. En annen løsning vil være å heve temperaturen under sparemodus, slik at temperaturløftet etter en time oppvarming er tilstrekkelig for å oppnå komfort.

Det ønskes også påpekt at til tross for hva retningslinjer og standarder utpeker som temperaturene for komfort, vil disse variere fra person til person. Noen vil syntes det er mer behagelig med kjøligere temperaturer, mens andre vil være villig til å ofre noen grader for redusert strømregning og nettleie. Som nå er observert fra de strenge effektgrensene under simuleringene, vil slike reduserte behov for varmelaster gjenspeiles positivt i kundens nettleie.

Opplevd komfort påvirkes som nevnt av flere faktorer enn gulv- og lufttemperatur, som målt under denne studien. Dette, i kombinasjon med lite vindusareal mot kaldt uteluft, stort vindusareal mot oppvarmet luft og bruk av varmepumpe for kjøling, gjør at man likevel må være kritisk til konklusjonen om termisk komfort i Smarthuset. Tiden med temperatur utenfor komfort på arbeidsrommet er eksempelvis svært begrenset under samtlige scenarier. For dette rommet mistenkes det derfor at de store vindusflatene mot glassgården har en mer dominerende effekt enn den kalde luften fra varmepumpen i stuen. Imitert varmetap blir derfor manglende her.

Resultatene om opprettholdt komfort og temperaturutviklingene under simuleringene vil likevel være veiledende for temperaturforløpet i boliger med automatisk laststyring av varmelaster. Konsekvensene av utkoblede varmelaster vil være større for en bolig med mindre isolasjon og større vegg- og vindusarealer mot kaldt uteluft. Virkelig varmetap en kaldt vinterdag kan være større enn det imiterte varmetapet.

### **10.3 Integrering av sesongavhengige og semi-fleksible laster**

Grunnleggende for laststyring er å ha indentifisert mulige laster som bør og/eller egner seg for styring. Å indentifisere disse er avgjørende for å utnytte det fulle potensialet for fleksibilitet. Jo flere laster som lar seg styre, jo større spillerom og potensial for effektreduksjon. Dette ble også tydelig under simuleringresultatene. Varmelaster er bevist å være egnes som fleksible. Det samme gjelder for elbillading. Å inkludere disse i et styringssystem ble under kapittel 9 bevist å gi økonomiske gevinster. Likevel var det under beregning av tilbakebetalingstid nødvendig å ta hensyn til at de samme besparelsene ikke inntreffer under sommermånedene. Norske boliger har et mindre samlet energiforbruk om sommeren enn om vinteren, og uten behov for varmelaster reduseres fleksibiliteten for effektreduksjon. Derfor bør man i videre utvikling av automatiske laststyringssystemer utforske flere og bedre måter å integrere sesongavhengige fleksible laster. For selvom behovet for strøm og effekt typisk reduseres om sommeren, og følgelig nettleien, vil det likevel være ønskelig å optimalisere utnyttelsen av styringssystemet og den potensielle fleksibiliteten som fortsatt er tilstede.

De sesongavhengige fleksible lastene i denne besvarelsen var varmtvannsbereder, elbillader, tørketrommel og vaskemaskin. Både elbilen og varmtvannsberederen fungerer som hvert sitt batteri med lagret energi, enten i form av kjemisk eller termisk. Det skal derfor være mulig å benytte disse uten å belaste nettet på samme tidspunkt, men forskyve denne belastningen til senere. Tørketrommelen og vaskemaskinen vil derimot belaste nettet i det øyeblikket de skrus



på. Disse er mindre fleksible med tanke på tidspunkt og lastforskyvning. På den andre siden er det ikke nødvendigvis et øyeblikkelig behov for disse lastene. Dersom automatiske systemer kan legge dette energiforbruket til et gunstig tidspunkt med hensyn til pris og effektuttaket ellers i boligen, vil dette være et enkelt og uanstrengt tiltak for forbruker.

Avbrutt vaskemaskin og tørketrommel er eksempler på brudd på ønsket om usynlig automatisering. Det er individuelt fra forbruker til forbruker om de er villige til å ofre laster, godta synlig styring eller manuell involvering for den økonomiske gevinsten dette kan medføre. Det er et spørsmål om kost-nytte for den individuelle forbruker.

### **Smart lading og valg av ladeeffekt**

Måleresultatene viste at man ved smart lading raskt fikk eliminert den største effekttoppen på ettermiddagen. Elbilen er en sesonguavhengig last, og bærer med seg fleksibilitet også inn i sommerhalvåret.

Utvikling av batteriteknologi og tilgangen til 3-faseladere har bidratt til at vi nå har tilgang til høye ladeeffekter. Med høye ladeeffekter lades batteriet raskt opp, som til tider kan være høyst nødvendig. Samtidig har utvikling av batteriteknologien gitt oss muligheten til å kjøre langt og lengre enn tidligere. Lading vil derfor ofte kunne planlegges, og ikke minst forskyves til natten, kalt smart lading. Når lading legges til natten, bør det på ny undersøkes hvilken ladeeffekt som bærer flest fordeler. Elektrifisering av transportsektoren bidrar til kapasitetsproblemet, men med nattelading og riktig valg av ladeeffekt, kan elbilen bli en del av forbruket ubemerket av boligens topplast. Batteriet vil nå ha mange timer å lade på, og ladeeffekten kan dermed reduseres utfra disse. Batteriet vil fortsatt bli tilstrekkelig oppladet, men over lengre tid. Det ble tidligere diskutert hva som vil være dimensjonerende for effektgrensen i styringssystemet. Ved denne løsningen unngår vi elbilen som en dominerende last i systemet, og at forbruker faktureres basert på en unødvendig høy ladeeffekt.

### **Styring av varmtvannsberederen**

Varmtvannsberederen er en annen sesonguavhengig last, som under simuleringene i denne besvarelsen lot seg styre uten store konsekvenser. Under scenario 6 og 7 hadde varmtvannsberederen kun tillatelse til å stå på i timene mellom 12-15 og 23-06. Dette lot seg gjøre på grunn av størrelsen på berederen, dimensjonert for 5 personer, mens timeplanen inkluderte bruk av laster tilpasset 2 eller 3 beboere. Nok varmtvann til alle i én bereder var altså grunnleggende for å kunne forskyve oppvarmingen av vannet, uten misnøye hos forbruker. Dette betyr samtidig at den strenge styringen av varmtvannsberederen ikke nødvendigvis kan overføres til andre husholdninger. Dersom berederen er mindre, eller det er flere beboere, kan det være behov for hyppigere oppvarming, slik at det er tilstrekkelig med varmtvann til alle. Lønnsomheten ved å kjøpe en større varmtvannsbereder på bakgrunn av dette er usikkert da det generelt vil kreve mer energi til oppvarming, og besparelsene og resulterende tilbakebetalingstid er ukjent. I tillegg vil en større bereder oppta større plass. Det bør derfor samles erfaringer for hvordan styre beredere av forskjellige størrelser, og samtidig unngå misnøye. Kan et fremtidig videreutviklet styringssystem styre berederen basert på tidligere vaner for den enkelte husholdning?

## **Vaskemaskin, tørketrommel og oppvaskmaskin**

Både vaskemaskin og tørketrommel ble avbrutt i løpet av simuleringene. I Smarthusets styringssystem var forbruker selv tvunget til å skru på vaskemaskinen igjen, da ny oppstart ikke var lagt inn automatisk. Igjen, dette er ikke en stor oppgave, men et resultat av styringssystemet, og kan i verste fall føre til misnøye. En løsning på dette problemet kunne først og fremst vært å endre prioriteten til denne lasten. På denne måten ville programmet med mindre sannsynlighet bli avbrutt. På den andre siden vil vaskemaskinen da potensielt gå på bekostning av andre laster. I et videre utviklet system kan det være ønskelig at styringssystemet selv skrur på vaskemaskinen igjen, når det samlede effektforbruket tilsier at dette er greit. Forbruker bør i et slikt system kunne oppgi når vasken ønskes ferdig, og styringssystemet legger så forbruket til det mest optimale tidspunktet. Alle forannevnte løsninger gjelder også for tørketrommelen og oppvaskmaskinen.

### **10.4 Lønnsomhet ved sluttbrukertiltak**

Lastflytting, som i denne besvarelsen er satt i fokus, kan føre til lavere nettleie for sluttbruker når den eventuelle tariffmodellen settes i verk. Dette kommer frem i resultatene ved at nettleien reduseres for flere av scenariene, til en pris mindre enn dagens nettleie uten laststyringssystem.

Som strømkunde må du føye deg etter nettleiemodellen bestemt for ditt bosted. Grad av lønnsomhet ved laststyringssystem vil avhenge av tariffmodell, som resultatene nå har vist. Det er altså ikke 100% opp til forbruker hvilken lønnsomhet et automatisk styringssystem vil medføre. Selve laststyringsmodell og valg av effektgrense påvirker også lønnsomheten, men er opp til hver forbruker.

Det ble i simuleringene antatt en husholdning med et forbruk som korrelerer med belastningen i nettet. Forbruket ble derfor ønsket forskjøvet i tid, og resultatet var økonomisk besparelse. Som Anders Aamodt fra Nelfo påpekte under webinar, vil forbruksprofilene ha store variasjoner fra husholdning til husholdning. For husholdninger med forbrukstopper som ikke sammenfaller med nettets topplasttimer, er det nå likevel rimelig å anta at også disse vil spare på å redusere topplast, da nettleiemodellene blir effektbaserte. Sett fra et energiperspektiv med tidsdifferensiert energiledd, vil ikke disse husholdningene nødvendigvis trenge å gjennomføre like strenge tiltak, da det ligger en naturlig gevinst i forbruk som allerede er utenfor nettets topplasttimer.

#### **10.4.1 Effektreduksjon versus energireduksjon**

Et styringssystem med hensikt i å redusere husholdningens momentane effektforbruk, gir ingen garanti for energireduksjon. Likevel ser vi fra resultatene at dette var tilfellet ved flere scenarier. Energiforbruket minket med redusert effektgrense. Energireduksjonen kom i stor grad som følge av mangel på ledig kapasitet i topplasttimene, slik at varmelastene i disse tidsrommene ikke hadde tillatelse til å skru seg på.

Forholdet mellom energiledd og effektledd i tariffmodellen vil virke inn på lønnsomheten til styringssystemet. Formålet med algoritmen er å redusere maksimal effekt, men det er ikke ønskelig med en økning i totalt energiforbruk som en følge av dette. Dette er spesielt ugunstig da det samtidig åpnes for tidsdifferensiering av energiledd i løpet av døgnet, som ikke bare vil gjøre effekten, men også energien dyr. For å garantere et stabilt, eller redusert, energiforbruk kan det derfor være nyttig å inkludere noen betingelser i systemet som retter seg mot nettopp dette. Forbruker må da være klar over at dette kan gå på bekostning av laster.

#### 10.4.2 Oppløsning på fakturering

Varigheten på en effekttopp vil avhenge av kombinasjonen av laster som benyttes, og deres individuelle effekt- og tidsbruk. Som illustrert av lastkurvene under 8.5 *Resultater*, var de største effekttoppene likevel kortvarige, og det er å anta at dette ofte vil være tilsvarende for andre husholdninger. Midlere verdi med timesoppløsning kommer kunden til fordel da slike kortvarige effekttopper har mindre innvirkning på timesverdien. Per nå er forslaget fakturering basert på timesverdi. Beregning av nettleie i kapittel 9 tydeliggjorde hvilken lønnsomhet dette innebar, da 5 minutters oppløsning medførte en relativt stor kostnadsøkning fra timesverdiene. Lastsystemets egen treghet førte til avvik i effektforbruket, med forbruk over grensen. Resulterende nettleie underbygget argumentet om at oppløsning må være bestemt før laststyringen overføres til et fysisk system, slik at man vet hvorvidt systemet skal tillate slike avvik over effektgrense.

#### 10.5 Potensielle utfordringer knyttet til tidsdifferensiert energiledd

Tidsdifferensiert energiledd har som hensikt å incentivere kundene til å bruke mindre energi når belastningen i nettet allerede er stor. Alle kunder trenger ikke reagere til incentivet for at kapasitetsproblemet minimeres, *men* dersom prissignalene er store, risikerer man at flere forbrukere likevel reagerer. Et prisincentiv av den størrelse som fører til overskudd av kapasitet virker mot sin hensikt når incentivene opprinnelig skal fremme en mer effektiv utnyttelse av det eksisterende strømmettet. Prisene innenfor en nettleie er ikke utviklerne av styringssystemet sitt ansvarsområde, men det er viktig at nettselskapene er klar over at dersom automatiske styringssystemer blir utbredt, kan det føre til mange og raske responser til prissignalene. Reduserte prissignal ville på den andre siden virket negativt inn på lønnsomheten til et styringssystem. Dette hadde ikke vært positivt for forbruker.

Både for individuelle forbruksprofiler, og for det aggregerte forbruket i et nett, er det viktig å unngå nye og høyere forbrukstopper som følge av lastforskyvning. Et automatisk styringssystem vil forsøke å finne et nytt tidspunkt for bruk av effektkrevde last dersom husholdningens effektuttak allerede er høyt. Det kan likevel oppstå utfordringer dersom effektkrevende laster fra flere husholdninger sammenfaller, som følge av individuelle styringssystemer i et område, med manglende kommunikasjon seg imellom. Det kan oppstå en ny effekttopp, potensielt høyere enn tidligere. Koordinert laststyring kan være en løsning, hvor nettselskapet kan overta laststyringen for et område, og på denne måten sørge for at de mest effektkrevende lastene ikke sammenfaller og resulterer i ny aggregert forbrukstopp eller overbelastning av nettet.

## 10.6 Videreutvikling av styringssystemet

### Generell styring for alle hjem

Som påpekt, vil både varmesystemer, hvilke laster og antall variere fra husholdning til husholdning. Nils H. Hagness fra OBOS prosjekt presenterte under webinar beregnede nettleier for borettslag med fjernvarme. Tallene avslørte det de kalte for en urettferdig kostnadsøkning som følge av effektbasert tariff. Mangel på varmelaster som fleksible understreker behovet for integrering av sesonguavhengige laster, for å tilrettelegge for lastflytting i flere hjem. Dette vil også øke antallet potensielle kunder av systemet som et produkt.

Det må samles erfaring fra bruk av styringssystem i forskjellige typer boliger. Sluttresultatet av det ferdig utviklede systemet bør muliggjøre styring av et stort antall laster, og som ved enkle trinn bør kunne tilpasses hver enkelt husholdning.

### Integrering av lokal produksjon og energilagring

Redusert lønnsomhet ved energieffektiviserende tiltak og egenproduksjon av strøm ble under kapittel 3.4 presentert som en utfordring knyttet til innføring av effektbaserte tariffer. Det er likevel ønskelig at strømkunder fortsetter å investere i solcelleanlegg for å bidra med fornybar og utslippsfri energi. Derfor er det også viktig at laststyringssystemene videreutvikles med hensyn til lokal energiproduksjon og lagring. Økonomisk gevinst er tidligere pekt på som det viktigste incentivet til å kjøpe styringssystemet som et produkt. Det er derfor viktig å søke løsninger til hvordan integrere lokalt og fornybart så lønnsomt som mulig, og tilrettelegge for maksimal utnyttelse av gratis energi. Solceller i kombinasjon med batterier og sanntidsdata åpner for smart valg av forsyning, men hensyn til den stadig endrede tilstanden i nettet. Samtidig ble det under scenariene bevist at et redusert energiforbruk ga utslag på nettleien. Dette betyr at selv om lønnsomheten minker ved innføring av effektbaserte tariffer, vil den fortsatt være tilstede.

Når det forhåpentligvis i nær fremtid utvikles teknologi som muliggjør bruk av elbilbatteri som et selvstendig batteri, åpnes igjen en ny verden av fleksibilitet.

## 11 Konklusjon

I denne besvarelsen er en effektkontrollalgoritme for automatisk laststyring videreutviklet, og testet i smarthus-laboratoriet. Hensikten har vært å redusere effektforbruket, som bidrag til løsning på kapasitetsutfordringene i strømmettet, og til fordel for kundens egen nettleie, beregnet med foreslåtte effektbaserte nettleiemodeller. Basert på døgnmålingene etter implementert laststyringssystem kan følgende konkluderes med;

- Leilighetens laster responderte som ønsket til det automatiske styringssystemet, og resulterte i reduserte effekttopper. En ytterligere konsekvens av strenge effektgrenser var også et redusert energiforbruk. Maksimal effekt ble redusert med mellom 19-55%, og total energi mellom 5-19%.
- Reduserte effektgrenser ga mindre ledig kapasitet til varmelastene i leiligheten. Målte temperaturer under scenariene tyder likevel på at det store deler av døgnet var nok ledig kapasitet for varmelastene å opprettholde en god komfort. Dette var spesielt tilfellet da elbil og bruk av varmtvannsbereder ble forskjøvet til timer utenfor komfortmodus.
- Nettleien ble beregnet med RME sine foreslåtte modeller. Både med og uten tidsdifferensiert energiledd ble nettleien lavest ved sikringsdifferensiert nettleie, for samtlige scenarier.
- Den største forskjellen mellom nettleie av timesverdier, og verdier av 5 minutters oppløsning var 160,2 kr. Dette var tilfellet for målt effekt, og indikerer at det er denne nettleien som er mest sensitiv til valg av oppløsning.
- Nettleien beregnet med, versus uten tidsdifferensiert energiledd, ga en økning i nettleie på 211,9 kr på det meste, beregnet med prisene antatt i denne besvarelsen. Dette var tilfellet for basisscenariet, da strengere effektgrenser og ytterligere tiltak i senere scenarier medførte en betydelig reduksjon i energiforbruk under topplasttimene.
- Økonomisk besparelse ved implementert laststyringssystem var størst for abonnert effekt, etterfulgt av målt effekt, med et beregnet maksimalt potensiale på henholdsvis 49% og 41%, begge resultat av tiltak i scenario 7. Følgelig ble også tilbakebetalingstiden ved innkjøp av smarthusteknologi kortest for disse modellene.
- Beregning av den samlede konsekvensen av endret nettleiestruktur, i kombinasjon med automatisk laststyringssystem, tydet på at økonomisk besparelse vil kreve mer av kunder med nettleiemodellen målt effekt, enn ved abonnert effekt og sikringsdifferensiert nettleie.
- Glitre Energi Nett sin smarte nettleie ga nettleiekostnader som kan måle seg med de laveste kostnadene beregnet med RME sine foreslåtte nettleiemodeller.
- For videre utvikling av det automatiske laststyringssystemet bør fokuset ligge på integreringen av sesonguavhengige laster, og lokal energiproduksjon og lagring.



## 12 Videre Arbeid

Under er en liste over videre arbeid, som tiltak for å bedre laststyringssystemet.

- Fortsette å søke løsning på hvordan optimalisere integreringen av de individuelle lastene i en kompleks og sammensatt styringsalgoritme.
- Søke løsning for optimalisert valg av forsyning som en del av laststyringssystemet, med solcelleanlegg og/eller annen lokal produksjon, i kombinasjon med batterier.
- Utvikle brukergrensesnitt knyttet til laststyringssystemet som er brukervennlig, intuitivt og sørger for effektiv kommunikasjon mellom maskin og forbruker.
- Utarbeide flere betingelser i effektkontrollalgoritmen knyttet til energiforbruk, som uten å gå på bekostning av essensielle laster, bidrar til energireduksjon. Ved effektbasert nettleiestructur vil første prioritet være effektreduksjon, men energibesparelser gjenspeiles også i nettleien.
- Utvikle en generell styringsalgoritme som er egnet for laster i de norske husholdninger, og undersøke hvordan denne med raske endringer kan tilpasses hver enkelt husholdning.
- Teste laststyringssystemet hos pilotkunder, for å evaluere deres komfort og opplevelse.
- Kartlegge mulighetene for kommunikasjon mellom flere styringssystemer koblet til samme lokale strømnnett, for å øke den aggregerte gevinsten av individuelle systemer.
- Studere påvirkningen av det automatiserte systemet på frekvens- og spenningskvalitet, og søke løsninger for å unngå reduksjon av disse.





## Referanser

- [1] H. T. Skulstad. *Utvikling av algoritmer for automatisk effektkontroll i bolig*. Masterbesvarelse, Institutt for elkraftteknikk, NTNU. 2018.
- [2] Pöyry Management Consulting og DNV GL. *Kostnader i strømmettet - gevinster ved koordinert lading av elbiler*. NVE. Rapport nr. 51/2019.
- [3] Statnett. *Tall og data fra kraftsystemet*. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/#import-og-eksport>. Hentet 13.02.20.
- [4] D. Spilde mfl. *Strømforbruk mot 2040*. NVE. Rapport Nr. 22/2019.
- [5] *Oppdatert investeringsplan 2018*. Statnett. 2018.
- [6] G. Bartnes, J. S. Amundsen og I. B. Holm. *Kraftmarkedsanalyse 2018 - 2030*. NVE. Rapport Nr. 84/2018.
- [7] L. Ødegården og S. Bhandana. *Status og prognoser for kraftsystemet 2018*. NVE. Rapport Nr. 103/2018.
- [8] C. H. Skotland, E. Eggum og D. Spilde. *Hva betyr elbiler for strømmettet?* NVE. Rapport Nr. 74/2016.
- [9] Norsk Elbilforening. *Elbilbarometeret 2018*. <https://elbil.no/elbilstatistikk/elbilbarometeret/>. 2018. Hentet 05.10.2019.
- [10] NVE. *Strømmettet er klar for elbilene*. <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/stromnettet-er-klar-for-elbilene/>. 2016 (Revidert 2019). Hentet 15.09.2019.
- [11] NVE. *Reguleringsmyndigheten for energi (RME)*. <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/>. Hentet 20.04.2020.
- [12] A. B. Eriksen mfl. *RME Høringsdokument: Endringer i nettleiestrukturen*. RME. Rapport nr.01/2020.
- [13] L. R. Naper, A. S. Haugset og M. Stene. *Innføring av effekttariffer i distribusjonsnettet - et forklaringsproblem?* NVE. Rapport Nr. 86/2016.
- [14] H. Løvik. Teknisk Ukeblad. *Slik blir de nye nettleieprisene*. <https://www.tu.no/artikler/slik-blir-de-nye-nettleieprisene-br/432271>. 2018. Hentet 20.11.2019.
- [15] C. Drefvelin. NRK. *Ikke la oppvaskmaskinen gå om natta*. <https://www.nrk.no/livsstil/advarer-mot-oppvaskmaskin-om-natta-1.12150505>. 2015. Hentet 24.05.2020.
- [16] *DPI Økt priselastisitet på etterspørselsiden*. SINTEF. 2008.
- [17] E.S. Viseth. Teknisk Ukeblad. *Lyse testet effektbasert nettleie: Hadde null effekt*. <https://www.tu.no/artikler/lyse-testet-effektbasert-nettleie-hadde-null-effekt/492124?key=KQqJH9xg>. 2020. Hentet 23.05.2020.
- [18] J. Aarstad A. Kringstad V. Holmefjord. *Fleksibilitet i det nordiske kraftmarkedet 2018–2040*. Analyserapport av Statnett. 2018.
- [19] Prof. Novakovic, Prof. Hanssen og Prof. Vincent Thue mfl. *ENØK i bygninger - Effektiv energibruk*. 2007.

- [20] SINTEF Energi AS for NVE. *Fremtidens Avanserte Måle og Styringsystem (AMS)*. NVE. Rapport Nr. 34/2019.
- [21] NVE. *Smarte strømmålere (AMS)*. <https://www.nve.no/stromkunde/smarte-strommalere-ams/>. 2015 (Revidert 2019). Hentet 15.09.2019.
- [22] Sikom. *Sikom bidrar til effektiv strømstyring*. <https://www.sikom.no/2019/04/09/sikom-bidrar-til-effektiv-stromstyring/>. Hentet 25.10.2019.
- [23] Sikom. *En smart bolig har intelligent effektstyring*. <https://www.sikom.no/smart-bolig/>. Hentet 25.10.2019.
- [24] NVE. *Energibruk i bygg*. <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu>. 2019. Hentet 04.11.2019.
- [25] SINTEF Byggforskserien. *Termisk inneklima. Betingelser, tilrettelegging og målinger*. 2017. Hentet 01.11.2019.
- [26] Det Kongelige Olje- og Energidepartement. *Meld. St. 25 (2015-2016): Kraft til endring—Energipolitikken mot 2030*. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20152016/id2482952/sec2>. Hentet 07.12.2019.
- [27] Statnett. *Forbruksprognose Stor-Oslo*. 2018.
- [28] E. Bjerkan mfl. *Fleksibilitet – Fremtidig organisering av monopol og marked*. Enfo Consulting for EnergiNorge. 2016.
- [29] L.Henden mfl. *Batterier i bygg kan få betydning for det norske kraftsystemet*. NVE. Rapport Nr. 66/2017.
- [30] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu og S. Rahman. *An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis*. 2012.
- [31] Energi og Klima. *Utrulling av elbiler - Salgstall og markedsandeler for elektriske kjøretøy*. <https://energiogklima.no/klimavakten/utrulling-av-elbiler/>. 2019. Hentet 01.11.2019.
- [32] Norsk Elbilforening. *Statistikk elbil - Bestand og markedsandel*. <https://elbil.no/elbilstatistikk/>. Hentet 26.05.2020.
- [33] Instell. *KNX - The world wide standard for home and building control*. <http://www.instell.no/knx/>. Hentet 01.12.2019.
- [34] *LogicMachine4 - Product Manual*. Embedded Systems. 2014.
- [35] ABB. *ABB Product-details*. <https://new.abb.com/products/2CKA006134A0334>. Hentet 02.06.2020.
- [36] Schneider Electric. *MTN647895*. <https://www.se.com/no/no/product/MTN647895>. Hentet 02.06.2020.
- [37] S. Bauer. *MBUS-GE20M/GE80M - Gateway for smart metering*. solvimus GmbH. 2014.
- [38] Nelfo. *Effekteffektivisering i husholdningene*. Hentet 10.09.2019.
- [39] H. Sæle og I. Petersen. *Electric vehicles in Norway and the potential for demand response*. SINTEF Energi. 2017.

- [40] NAF. *Nissan LEAF*. <https://www.naf.no/elbil/elbiler-i-norge/nissan-leaf/>. Hentet 13.05.2020.
- [41] EVBOX. *Den rette ladeløsningen for din elbil*. <https://evbox.com/no-no/elbiler/tesla/tesla-model-s>. Hentet 10.2019.
- [42] NVE. *Produktområdet belysning*. <https://www.nve.no/energibruk-og-effektivisering/okodesign-og-energimerking-av-produkter/produktområdet-belysning/>. 2016 (Revidert 2019). Hentet 07.11.2019.
- [43] Glitre Energi Nett AS. *Nettleiepriser - 2020*. <https://www.glitreenergi-nett.no/nettleie/priser/>. Hentet 20.05.2020.
- [44] Sikom. *Produkter*. <https://www.sikom.no/produkter/>. Hentet 31.05.2020.
- [45] Tibber. *Lad elbilen på de billigste timene*. <https://tibber.com/no/store/elbil-lading>. Hentet 22.05.2020.
- [46] Tibber. *Heatit - Termostat Z-TRM3*. <https://tibber.com/no/store/produkt/heatit-termostat-z-trm3>. Hentet 14.06.2020.
- [47] B. A. Sæther. *NOU 2018 17 - Klimarisiko og norsk økonomi*. <https://www.regjeringen.no/no/no/dokumenter/nou-2018-17/id2622043/sec7>. Regjeringen, Finansdepartementet. Hentet 22.05.2020.



## Tillegg A Utstysrliste

Tabell A.1: Komponenter og laster i Smarthuset

Produsent	Modell	Grensesnitt	Funksjon
Aktuatorer			
Embedded Systems	Logic Machine 4	KNX, Modbus, BAC-net, EnOcean, DALI, 1-Wire	Kontroller
Schneider Electric	MTN647895	KNX	Relé
Sensorer og målere			
Schneider Electric	iEM3135	M-bus	Strømmåler
ABB	6128/28-500	KNX	Termostat
CTM Lyng	MTRNS-W TermREG EL.nr:5450303	KNX	Termostat
Voltus	ARCUS SK10-TC-HTF	KNX	Temperaturføler på vvb
Kommunikasjonsenheter			
SIEMENS	5WG1 191-5AB01	KNX	Installasjonsbus
Schneider	MTN681829	KNX	USB grensesnitt
Solvimus GmbH	MBUS-GE20M	M-Bus, Modbus TCP	Gateway
ASUS	RT-AC3200		Trådløs Router
Fleksible Laster			
Øglænd System	OS 30-21 900W 55m		Varmekabler på bad
Oso Hotwater	S300 - 3kW/1x230V SAGA bereder		Varmtvannsbereder
Samsung	WW10M86INOA		Vaskemaskin
Samsung	DV6800 Heat Pump Tumble Dryer A+++		Tørketrommel
Ikke-fleksible Laster			
Wilfa	WSP2A		Kaffetrakter
InVite	KE7061		Vannkoker
Samsung	NV73J9770RSEE		Stekeovn
Samsung	NZ84J9770EK		Induksjonskokeopp



## Tillegg B E-postutveksling

### B.1 NVE

#### SV: Spørsmål vedrørende endring i nettleiestrukturen

Andreas Bjelland Eriksen <aber@nve.no>

ma. 16.03.2020 15:44

Til: Camilla Gulbrandsen <camilla.gulbrandsen@hotmail.no>

Hei Camilla.

Beklager sent svar her, mye som har skjedd den siste tiden.

Det går sikkert greit om du legger noe ved oppgaven, men gi meg gjerne mulighet til å lese gjennom det du bruker, så kan jeg få kvalitetssikret grundig at alt er riktig. Jeg har lagt inn svar på spørsmålene under. Si ifra om det er noe mer du lurer på, eller om det er noe jeg ikke har forklart presist nok.

Mvh Andreas

#### Andreas Bjelland Eriksen

Rådgiver

Seksjon for regulering av nettjenester

#### Reguleringsmyndigheten for Energi

Tlf: +47 22 95 95 95, mob.: +47 90 18 45 21

E-mail: [aber@nve.no](mailto:aber@nve.no), Web: [www.reguleringsmyndigheten.no](http://www.reguleringsmyndigheten.no)



**NVE**  
Reguleringsmyndigheten  
for energi – RME

---

Fra: Camilla Gulbrandsen <camilla.gulbrandsen@hotmail.no>

Sendt: onsdag 4. mars 2020 10:12

Til: Andreas Bjelland Eriksen <aber@nve.no>

Emne: Spørsmål vedrørende endring i nettleiestrukturen

Hei!

Camilla Gulbrandsen her! Jeg kontaktet deg angående de effektbaserte tariffmodellene før jul. Har nå satt i gang med masteroppgaven med motivasjon i disse foreslåtte effekttariffene, presentert i høringsdokumentet «Endringer i nettleiestruktur».

Jeg har lest høringsdokumentet, hvor alt er presentert på en veldig god måte. Jeg har likevel noen spørsmål jeg håper du ville svare på. Ved gode svar og innspill kan det være at disse ønskes belyst i masterbesvarelsen, og e-posten bør derfor legges med som vedlegg i oppgaven. Si ifra om dette ikke er ok.

- I høringsdokumentet står det at målerne gir nettselskapet informasjon om kundens forbruk hver time, og det er å forstå at kunden skal faktureres for gjennomsnittlig effektuttak over en time. Hva er bakgrunnen for denne oppløsningen? Effektuttaket kan ha store variasjoner over en time. Vil denne oppløsningen da gi et reelt bilde av belastningen på nettet. Kunne gjennomsnittlig forbruk hvert kvarter vært et alternativ?

Det vil kanskje være en fordel for kunden å faktureres for gjennomsnitt per time, for en høy last i en svært kort periode vil da ikke få altfor store konsekvenser.

Kravet om timesmåling er allerede i dag et krav, jf. måling og avregningsforskriften § 4-2, og ikke noe som berøres av høringen om ny utformingen av nettleien. Målerne er imidlertid utformet slik at det går an å legge

om til 15 minutters oppløsning på sikt. Dette er imidlertid et eget arbeid, og krever endringer for eksempel i utformingen av kraftmarkedene.

- Det kan virke som noen mener at overgangsperioden er satt til litt for lang. Jeg forstår det som at dette er for at kundene skal vende seg til den nye modellen og få god forståelse. Er det andre grunner til at overgangsperioden ikke er foreslått kortere? Noen har også ytret at endringen bør skje fra en dato – felles for alle, for å unngå forvirring blant kundene. Noen tanker om dette?  
På den andre siden vil en lang overgangsperiode kanskje gi rom for testing(piloter) av flere modeller for nettselskapene?

Forslaget til overgangsperiode skal balansere hensynene til at kunder som har foretatt investeringer ikke kommer dårligere ut, at kunder ikke skal oppleve store endringer i nettleien på kort sikt, og at prissignalene i forslaget trer i kraft raskt nok. Vi har imidlertid i høringsdokumentet bedt om innspill på om overgangsordningen er for kort eller for lang. Presis kommunikasjon ved ikrafttredelse av nytt regelverk, som er foreslått fra 01.01.2022, og gjennom overgangsperioden vil bidra til at alle kunder blir ivaretatt på en god måte.

- Har dere noen tanker om hvilken modell som vil bli mest populær av de foreslåtte? Eller hvilken modell som vil lønne seg for forskjellige grupper nettselskaper?

Dette må vi eventuelt komme tilbake til etter høringsfristen er utløpt.

- Det spesifiseres i høringsdokumentet at det er mulig å kombinere målt effekt med sikringsdifferensiert nettleie. Hvordan tenker dere en modell som dette vil se ut?

I en slik modell vil fastleddet være differensiert basert på kundens sikringsstørrelse, samtidig som kunden har et effektledd basert på den høyeste daglige effekttoppen.

- Det ser ut til at den største utfordringen vil være å formidle de nye modellene til nettkundene, så alle får en god forståelse. Er det noen andre utfordringer ved implementeringen av en effektbasert modell, som dere kan komme på? Er det drøftet hvordan og om noen kunder kan utnytte eller "lure" systemet? I en masteroppgave er det interessant med vinklinger som bidrar til å løse en utfordring, og det er da bakgrunnen for dette spørsmålet.

God kommunikasjon om endringen er nok den viktigste forutsetningen for en vellykket omlegging. I tillegg blir det viktig hvilke produkter og tjenester tredjepartsaktører utvikler for å bidra til at kundene enkelt kan gjøre noe med effektforbruket.

Tusen takk på forhånd!

Mvh. Camilla S Gulbrandsen  
Elkraftstudent ved NTNU

Figur B.1: E-post fra Andreas Bjelland Eriksen i NVE



## B.2 Elvia AS

### SV: Spørsmål vedrørende endring i nettleiestrukturen

Silje Elise Harsem <Silje.Elise.Harsem@hafslund.no>

ti. 03.03.2020 14:22

Til: camilla.gulbrandsen@hotmail.no <camilla.gulbrandsen@hotmail.no>

Kopi: Åshild Vatne <Ashild.Vatne@hafslund.no>

Hei Camilla,

Jeg fikk forespørselen din fra Åshild.

Jeg er prosjektleder for et prosjekt som heter «Aktive Hjem – for å lette nettet og nettleia». Formålet med dette prosjektet er å oppnå en vellykket utrulling av effektbasert nettleie til våre husholdningskunder, dvs å finne en metode for å rulle ut effekttariffer som oppfattes kundevennlige og reduserer topplasten vår.

En vellykket utrulling krever en nettleie- og kommunikasjonsstrategi som gir kundene våre riktige incentiver og god informasjon. Nærmere bestemt skal vi i prosjektet:

- Utvikle en tariffmodell som gir kunden incentiver til å agere på en måte som reduserer kostnadene i nettet på sikt
- Utvikle en kommunikasjonsstrategi som gir kunden den informasjonen han/hun trenger for å forstå effekten av den nye modellen og hvordan de bør tilpasse seg

I tillegg til at vi anser dette som en gylden mulighet til å forbedre vår relasjon til kundene våre og øke deres kunnskap om hva vi gjør og hvorfor vi gjør som vi gjør.

Vi er per i dag ikke sikre på hvilken tariffmodell eller kommunikasjonsstrategi som er best mtp å oppnå nevnte mål. For å få mer innsikt og et godt beslutningsunderlag til utrulling av fullskala i 2022 skal vi derfor kjøre piloter i nettområdet vårt fom høsten 2020.

Vi står akkurat nå i en prosess for å velge hvilke tariffstrukturer vi skal teste i piloten. Jeg kan komme tilbake til deg når dette er besluttet. Vi er veldig enige i at en av de største utfordringene i utrulling er å formidle de nye modellene til kundene – både mtp å gi kundene forståelse for hvorfor vi innfører effekttariffer og for at kunden skal forstå den konkrete modellen og hvordan de da bør respondere på en måte som skaper en vinn-vinn-vinn effekt for både dem, nettselskapet og samfunnet på sikt. For å nå frem til kundene våre med dette budskapet skal vi få bistand fra kommunikasjonsbyrået Geelmuyden-Kiese. De skal bistå oss med å utforme et konsept som engasjerer kundene og hjelper dem med å forstå hva, hvordan og hvorfor de skal respondere på den nye nettleien. For å skape engasjement må vi kommunisere på en mer emosjonell måte og med et enklere språk enn det nettselskap tradisjonelt har gjort ☺

Dette var en litt overordnet tilnærming til spørsmålene dine under. Om det er noe mer du lurer på kan vi godt finne et tidspunkt for en telefonsamtale evt fysisk om du er i Oslo-området. Litt lettere å gå dypere inn i ting da.

Med vennlig hilsen

Silje Elise Harsem | Leder Selskapsstrategi

Elvia AS

Tlf. 90 75 41 73 | E-post: silje.harsem@hafslund.no

Elvia AS er det fusjonerte Eidsiva Nett og Hafslund Nett

Les mer på [www.elvia.no](http://www.elvia.no)

Figur B.2: E-post fra Silje Elise Harsem fra Elvia AS

### B.3 Glitre Energi Nett AS

**Fra:** Knut-Olav.Bakkene@glitreenergi.no

**Sendt:** 28.02.2020 15:49

**Til:** Kundeservice Glitre Energi Nett <kundeservice@glitreenergi-nett.no>

**Emne:** SV: (Glitre N:1586809) Spørsmål vedrørende endring i nettleiestrukturen

Hei,

Så fint at du velger å fordype deg i denne tematikken 😊

Våre svar ligger direkte i tilknytning til spørsmålene dine.

Håper våre svar gir mening og at de er til hjelp for ditt videre arbeid.

Lykke til og god helg!

Vennlig hilsen / Best regards

**Knut Olav Bakkene**

avdelingsleder kunde og rammevilkår

+47 958 71 970

**Glitre Energi Nett AS**

[glitreenergi.no](http://glitreenergi.no)

border="0" width="101" height="30" style="width:1.052in;height:.3125in" id="\_x0000\_i1025"

Opprinnelig bilde er fjernet...

---

**Fra:** Kundeservice Glitre Energi Nett <kundeservice@glitreenergi-nett.no>

**Sendt:** fredag 28. februar 2020 15.17

**Til:** Knut Olav Bakkene <Knut-Olav.Bakkene@glitreenergi.no>

**Emne:** (Glitre N:1586809) Spørsmål vedrørende endring i nettleiestrukturen

-----Videresendt melding:-----

**Fra:** [camilla.gulbrandsen@hotmail.no](mailto:camilla.gulbrandsen@hotmail.no)

**Sendt:** 28.02.2020 14:49

**Til:** "[kundeservice@glitreenergi-nett.no](mailto:kundeservice@glitreenergi-nett.no)" <[kundeservice@glitreenergi-nett.no](mailto:kundeservice@glitreenergi-nett.no)>

**Emne:** Spørsmål vedrørende endring i nettleiestrukturen

Hei!

Camilla Gulbrandsen her! Skriver for øyeblikket masteroppgave ved NTNU, med motivasjon i foreslåtte effekttariffer, presentert i NVEs høringsdokument «Endringer i nettleiestruktur».

Spørsmålene under er sendt til dere i tilknytning til denne masteroppgaven, og

med et ønske om å få bedre innsikt i deres syn på forslaget. Ved gode innspill og synspunkter kan det være at disse ønskes belyst i masterbesvarelsen, og e-posten bør derfor legges med som vedlegg i oppgaven. Si ifra om dette ikke er ok for deg og dere.  
Alle svar mottas med stor takk!

- Hvilke holdninger har dere til NVEs forslag om ny effektbasert tariffmodell?  
Glitre Energi Nett er positive til det høringsutkastet fra NVE/RME. Den åpner for flere ulike tariffmodeller. Foreløpig ser vi i retning av «sikringsbasert» fastledd og variabelt energiledd over døgn og år.
- Jeg har sett GEN sin modell for smart nettleie. Går denne modellen under prinsippene foreslått av NVE (abonnert effekt, målt effekt og sikringsdifferensiert nettleie)?  
Se svar på forrige spørsmål. NVE/RME åpner for en energibasert nettleie med «sikringsbasert» fastledd. Glitre Energi Nett vil helst unngå å benytte effektledd mot husholdninger.  
Hvilke tilbakemeldinger får dere fra kundene som deltar i pilotprosjektet?  
Stort sett positive tilbakemeldinger. Tilbudet er gitt til 75 000 kunder og kun 20 har reservert seg. En kunde har klaget den inn til Elklagenemnda fordi han mener dette er subsidiering av elbiler, som ikke er hjemlet i noe lovverk.

Hvilke tanker har dere om de foreslåtte modellene (abonnert effekt, målt effekt og sikringsdifferensiert nettleie)?

Som besvart tidligere, vi ønsker en time of use (ToU) med gulrot, ikke ToU med pisk. Vi håper NVE/RME vil være med på det.

- Hvordan tenker dere at deres kunder vil reagere til ny nettleiestruktur? Eventuelt, hva gjør dere for at ny nettleiestruktur skal tas godt imot av kundene?  
Nettleie alene har relativt begrenset virkning. Det må kombineres med informasjon. Der vil nettselskapet bidra i egen regi, men vel så stor kraft vil det ha om vi kan stå sammen med organisasjoner som Elbilforeningen, NBBL, Nelfo, Huseierne også videre. Da er det mye lettere å nå fram og en kan sikre at en holder trykket oppe over tid. Vi ønsker også å benytte anledningen til å slå et slag for brannsikkerheten, ved at vi anbefaler trygg lading med godkjent utstyr.
- Det ser ut til at den største utfordringen vil være å formidle de nye modellene til nettkundene, så alle får en god forståelse. Er det noen andre utfordringer ved implementeringen av en effektbasert modell som dere kan komme på?  
Som sagt, vi vil helst unngå en effekttariff til husholdningskunder. Det blir unødvendig komplisert og det har ingen dokumentert effekt på forbruksutviklingen, jf. Norgesnett.

I en masteroppgave er det interessant med vinklinger som bidrar til å løse en utfordring, og det er da bakgrunnen for dette spørsmålet.

Generelt, NVE/RME fremsnår effekttariffer som i seg selv kan gi relativt kraftige prissignaler, men så korrigerer de det ved å innføre krav om avregning basert på døgnmaks. Da undergraver de hele fundamentet for det prissignalet dette tariffelementet skulle gi, så da mener vi at en pådrar seg en stor informasjonsoppgave, uten at en oppnår noe som helst. Men NVE/RME åpner som sagt for et «sikringsbasert» fastledd og ToU. Det sporet vil vi forfølge. Der tar vi sikte på å legge inn «sikringsstørrelse» basert på siste års forbruk. Det betyr at en ikke må gjøre noen endringer i sikringsskapet om en har for store sikringer i forhold til dagens bruk.

All respons vil være til stor hjelp! Tusen takk på forhånd!

Mvh. Camilla S. Gulbrandsen  
Elkraftstudent ved NTNU

Figur B.3: E-post fra Knut Olav Bakkene i Glitre Energi Nett AS



## Tillegg C Algoritme

### C.1 Konstanter (Skript: *Common functions*)

```
1 ----- Konstanter -----
2
3 P_maks=5000
4
5 -- Temperaturer
6 T_s={
7   comfort={stue=22,arb=22,bad=26,gang=22},
8   save={stue=18,arb=18,bad=22,gang=18}
9   }
10
11
12 DeltaT_comfort=1 -- Temperaturintervall for komfort
13 DeltaT_critical=5 -- Stoerste temperaturintervall foer kritisk temperatur
14 T_critical_vb=60 -- Kritisk vanntemperatur i varmtvannsberederen
15
16
17 -- Tidspunkt for spare- og komfortmodus
18 night_save_end=6
19 day_save_start=8
20 day_save_end=16
21 night_save_start=23
```

### C.2 Variable (Skript: *Common functions*)

```
1 ----- Variable -----
2
3 -- Fleksible laster
4 loads={
5
6   vb={k=6, ad='11/0/0', B=grp.getvalue('11/0/0'), P=3000, T=grp.getvalue(
7     '5/1/0')},
8
9   vk={k=4, room='bad', ad='11/1/0', B=grp.getvalue('11/1/0'), P=900, T=
10    grp.getvalue('5/2/2')},
11
12   vf_gang={k=3, room='gang', ad='11/2/0', B=grp.getvalue('11/2/0'), P
13    =800, T=grp.getvalue('4/2/0')},
14
15   vf_stue={k=2, room='stue', ad='0/2/0', B=grp.getvalue('0/2/0'), P=1450,
16    T=grp.getvalue('0/1/2')},
17
18   vf_arb={k=5, room='arb', ad='6/2/0', B=grp.getvalue('6/2/0'), P=780, T=
19    grp.getvalue('6/2/2')},
20
21   elbil={k=1, ad='8/0/0', B=grp.getvalue('8/0/0'), P=0},
22
23   vask={k=7, ad='5/4/0', B=grp.getvalue('5/4/0'), P=250},
24
25   tork={k=8, ad='5/5/0', B=grp.getvalue('5/5/0'), P=500}
26 }
```

```

22
23 -- Prioritet inkrement
24 pri=0

```

### C.3 Funksjoner (Skript: *Common functions*)

```

1 ----- Funksjoner
2
3 -- Teller antall elementer i tabell T
4 function table_length(T)
5     local count=0
6     for _ in pairs(T) do
7         count=count+1
8     end
9     return count
10 end
11
12
13 -- Returnerer 'true' dersom naavaerende tidspunkt tilsværer sparemodus
14 function save_mode()
15     local t=os.date("*t").hour
16     if (t < night_save_end or t >= night_save_start) or (t<day_save_end and
17         t>=day_save_start) then
18         return true
19     end
20     return false
21 end
22
23
24 -- Returnerer 'true' dersom naavaerende tidspunkt tilsværer komfortmodus
25 function comfort_mode()
26     if not save_mode() then
27         return true
28     end
29
30     return false
31 end
32
33
34 -- Returnerer 'true' dersom temperaturdifferansen mellom oensket
35     temperatur og maalt temperatur i rommet er mindre enn DeltaT_critical
36 function check_temp_critical(load)
37     if save_mode() and (T_s.save[load.room]-load.T <= DeltaT_critical) then
38         return true
39     elseif comfort_mode() and (T_s.comfort[load.room]-load.T <=
40         DeltaT_critical) then
41         return true
42     else
43         return false
44     end
45 end
46 -- Returnerer 'true' dersom temperaturdifferansen mellom oensket
47     temperatur og maalt temperatur i rommet er mindre enn DeltaT_comfort

```

```

47 function check_temp_comfort(load)
48     if save_mode() and (T_s.save[load.room]-load.T <= DeltaT_comfort)
49         then
50             return true
51         elseif comfort_mode() and (T_s.comfort[load.room]-load.T <=
52             DeltaT_comfort) then
53             return true
54         else
55             return false
56         end
57     end
58 -- Returnerer 'true' dersom temperaturen i varmtvannsbereder er hoeyere
59     enn T_critical_vb.
60 function vb_cond_satisfied(load)
61     if load.T >= T_critical_vb then
62         return true
63     else
64         return false
65     end
66 end
67
68 -- Returnerer lasten med prioritet pri
69 function get_load(pri)
70     for v in pairs(loads) do
71         load=loads[v]
72         if load.k==pri then
73             return load
74         end
75     end
76     return nil -- returnerer 'nil' dersom last med prioritet pri ikke er
77         funnet
78 end
79
80 -- Returnerer 'true' dersom betingelsen knyttet til lasten load er
81     tilfredsstilt
82 function load_conditions(load)
83     if load==loads.vb then
84         if vb_cond_satisfied(load) then
85             return true
86         end
87     elseif load==loads.vask then
88         local t=os.date('*t')
89         if t.hour>=19 then
90             return true
91         end
92     elseif load==loads.tork then
93         local t=os.date('*t')
94         if t.hour>=21 then
95             return true
96         end
97     elseif load==loads.elbil then
98         local t=os.date('*t')
99         if ((t.hour >= 17 and t.min >= 35) or t.hour>=18) then

```

```

99         return true
100     end
101     elseif check_temp_critical(load) then
102         return true
103     end
104     return false
105 end
106
107
108 -- Foresp rsel om aa skru av last av prioritet pri
109 -- Hvis OK --> B = 0 og returnerer 'true'
110 function request_load_off(pri,k)
111
112     local load = get_load(pri)
113
114     if (load and load.B==true and load_conditions(load) and pri>=k) then
115         grp.write(load.ad, false)
116         log('Turning off load')
117         return true
118     else
119         return false
120     end
121 end
122
123
124 -- Setter P_l = 0 hvis request_load ikke funnet
125 function set_P_l (request_load)
126     if request_load then
127         return request_load.P
128     else
129         return 0
130     end
131 end
132
133
134 --- Setter k = 0 hvis request_load ikke funnet
135 function set_k (request_load)
136     if request_load then
137         return request_load.k
138     else
139         return 0
140     end
141 end

```

Merk! Programmeringen av betingelsene for vaskemaskin og tørketrommel er spesifikk for testscenariene i denne besvarelsen, der tidspunktene for å skru på disse er forhåndsbestemt. En generell kode for betingelsene knyttet til disse lastene må derfor utarbeides dersom denne effektkontrollalgoritmen skulle blitt videreført.



#### C.4 Overvåkning av varmelaster (Skript: *Resident*)

```
1 ----- Varmefolie Stue ---
2
3 request_load=loads.vf_stue
4
5 if not check_temp_comfort(request_load) and request_load.B==false then
6   local status=load_control_algorithm(request_load)
7   if status ==1 then
8     log('Exit 1: Bryter Varmefolie stue PAA')
9   elseif status==2 then
10    log('Exit 2: Bryter Varmefolie stue PAA. ALARM! P_tot > P_abb.')
```

#### C.5 Overvåkning av varmtvannsbereder (Skript: *Resident*)

```
1 --- Varmtvannsbereder
2
3 request_load=loads.vb
4
5 if not vb_cond_satisfied(request_load) and request_load.B==false then
6   log('Forespoersel om aa skru paa VVB')
7   local status=load_control_algorithm(request_load)
8   if status ==1 then
9     log('Exit 1: Bryter VVB PAA')
10  elseif status==2 then
11    log('Exit 2: Bryter VVB PAA. ALARM! P_tot > P_abb.')
```

#### C.6 Overvåkning av aktiv effekt (Skript: *Resident*)

```
1 ----- Aktiv effekt -----
2
3 request_load=false
4
5 if grp.getvalue('MBUS Aktiv Effekt') > P_maks then
6   log('Effektforbruket er for hoeyt. Kjoerer effektkontrollalgoritme')
```

```

14 end
15
16 end

```

## C.7 Effektkontrollalgoritme (Skript: *Common functions*)

```

1 ----- Effektkontrollalgoritme -----
2
3 function load_control_algorithm(request_load)
4
5
6     local P_l=set_P_l(request_load) -- P_l = 0 hvis forspørsel om aa skru
       AV last
7     local k=set_k(request_load) -- k = 0 hvis forspørsel om aa skru AV
       last
8
9     local n=table_length(loads)
10    pri=n
11
12
13
14    while ((grp.getvalue('MBUS Aktiv Effekt') + P_l) >= P_maks ) do
15
16        if pri < 0 then
17            if request_load then
18                if load_conditions(request_load) then
19                    return 3
20                else
21                    grp.write(request_load.ad,true)
22                    return 2
23                end
24            else
25                return 2
26                --ALERT
27            end
28        end
29
30
31        -- Forespørsel om aa skru AV last med prioritet pri --
32        request_load_off(pri,k)
33        pri=pri-1
34        os.sleep(10) -- Utsetter neste kommando med 10 sekunder
35
36    end
37    -- Avslutter while-loop
38
39
40    -- Skru PAA forespurt last dersom 'MBUS Aktiv Effekt' + P_l < P_maks
41    if request_load then
42        grp.write(request_load.ad,true)
43    end
44
45    return 1
46
47 end
48 -- Avslutter effektkontrollalgoritmen

```

## Tillegg D Utregning av nettleie i Excel

	A	B	C	D	E	F	G
3							
4	Basisscenario						Uten differensiert energiledd i topplasttimer (5 MIN OPPLØSN.)
5	Maks effekt [kW] (5 MIN)	10,131					=D\$25+\$B\$25*B10*31
6	Maks effekt [kW] (Timesverdi)	8,614					Abonnert effekt =D\$26+\$E\$26*B8+\$B\$26*B12*31+\$C\$26*B11*31
7							Målt effekt =D\$27+\$C\$27*B5*31+\$B\$27*B10*31
8	Effektgrense [kW]	11					Sikringsdiff. =D\$28+\$E\$28*11+\$B\$28*B10*31
9							
10	Energi (hele døgn) [kWh]	65,745					
11	- Hvorav overforbruk (5 MIN)	0					Uten differensiert energiledd i topplasttimer (TIMESVERDIER)
12	- Hvorav ikke overforbruk (5 MIN)	=B10-B11					Dagens nettleie =D\$25+\$B\$25*B10*31
13	- Hvorav overforbruk (Timesverdi)	0					Abonnert effekt =D\$26+\$E\$26*B8+\$B\$26*B14*31+\$C\$26*B13*31
14	- Hvorav ikke overforbruk (Timesverdi)	=B10-B13					Målt effekt =D\$27+\$C\$27*B6*31+\$B\$27*B10*31
15							Sikringsdiff. =D\$28+\$E\$28*9+\$B\$28*B10*31
16	Ang. topplasttimer (Timesverdier):						
17	- Ikke Overforb. (topplast) [kWh]	34,173					
18	- Overforb. (topplast) [kWh]	0					Med differensiert energiledd i topplasttimer (TIMESVERDIER)
19	- Ikke Overforb. (ikke topplast) [kWh]	31,577					Abonnert effekt =D\$26+\$E\$26*B8+\$B\$26*B19*31+\$C\$26*B20*31+\$B\$29*B17*31+\$B\$31*B18*31
20	- Overforb. (ikke topplast) [kWh]	0					Målt effekt =D\$27+\$C\$27*B6*31+\$B\$27*(B20+B19)*31+\$B\$29*(B17+B18)*31
21	Sum forbruk i topplasttimer [kWh]	=B17+B18					Sikringsdiff. =D\$28+\$E\$28*9+\$B\$28*(B20+B19)*31+\$B\$29*(B17+B18)*31
22							
23							
24							
25	Dagens nettleie	0,1859	0	=2046/12	0		
26	Abonnert effekt	0,05	1	=1350/12	=675/12		
27	Målt effekt	0,05	2,25	=1850/12	0		
28	Sikringsdiff.	0,05	0	=1750/12	=343/12		
29							
30	Energipris Topplasttimer	0,25					
31							
32	Påslag topplasttimer	1,2					

