

Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp  
Fakultet for realfag og teknologi

# **Bruk av termisk lagret energi i kontorbygg tilknyttet fjernvarmenettet til Hafslund Varme**

Use of thermal energy in office buildings connected  
to the Hafslund Varme district heating grid

**Marthe Christensen**  
Industriell Økonomi

**Nikolai Huisman Moskvil**  
Industriell Økonomi



## Sammendrag

Hafslund Varme AS produserer og leverer fjernvarme i Oslo. Forbruksmønsteret til kunden varierer mye i løpet av et døgn. Det resulterer i stadige endringer i effektbehov og enkelte effekttopper i fjernvarmenettet. Effektbehovet er særlig stort i morgentimene og utover dagen, mens det normalt er lavere om natten. Dette stiller krav til kapasitet i fjernvarmenettet, noe som medfører bruk av fleksible, men dyre produksjonsmetoder. En mulig metode for å jevne ut effekttoppene i et fjernvarmenett ble undersøkt i denne oppgaven. Hensikten er å redusere effektuttaket til enkelte bygg i perioder med stort effektbehov i fjernvarmenettet. Dette betyr at i en periode blir byggene tilført mindre varme enn det som er nødvendig for å opprettholde innetemperaturen. I denne oppgaven har det blitt undersøkt hvorvidt termisk lagret energi i en bygningskonstruksjon kan kompensere for deler av reduksjonen i effektuttak, og på den måten bidra til en akseptabel innetemperatur. Det har blitt beregnet reduksjon i effektuttak og varmekapasiteten til byggene.

Det ble gjort forsøk på to kontorbygg som ligger på Skøyen i Oslo. Forsøkene ble gjort i helger uten aktivt ventilasjonsanlegg og ansatte som arbeidet i byggene. Regulatoren som styrer oppvarmingen av bygget ble endret slik at den opererte som om utetemperaturen var høyere enn den faktisk var. På denne måten fikk ikke byggene tilført nødvendig effekt for å opprettholde innetemperaturen. Det ble testet to tiltak med oppjustering av utetemperaturen, med henholdsvis +10 °C og +20 °C. Tiltakene førte til at regulatoren reduserte temperaturen på varmtvannet som sirkulerte i radiatorene i bygget. Oppjustering av utetemperatur foregikk over en periode på seks timer, og byggenes innetemperatur og effektuttak ble målt. Det ble utført tre forsøksserier for hvert tiltak.

Resultatene viste at det var mulig å redusere varmetilførselen til et bygg betraktelig over en periode, og fremdeles ha akseptabel innetemperatur. Det tiltaket som ga størst reduksjon i effektuttak ga en gjennomsnittlig reduksjon over tre forsøksserier på 4,2 W/m<sup>2</sup> for bygg 1 og 12 W/m<sup>2</sup> for bygg 2. Tiltaket ga et gjennomsnittlig fall i innetemperatur på maksimalt 0,7 °C for bygg 1 og maksimalt 2 °C for bygg 2. Videre hadde bygg 2 størst varmekapasitet per bruksareal. Varmekapasiteten var 21 Wh/°Cm<sup>2</sup> i bygg 1 og 32 Wh/°Cm<sup>2</sup> i bygg 2.



## Abstract

Hafslund Varme AS supplies the capital of Norway, Oslo, with district heating. The consumption of heat varies during a day. This results in repeated changes in the system's heat load, which often accumulate to heat peaks. The need for heat is especially high in the morning and during the day, but descending in the evening and night time. This requires sufficient production capacity, which means having to use flexible but expensive production methods.

In this thesis, a feasible method for peak shaving is examined. The purpose was to reduce the heat input to some buildings in periods with large heat demand in the district heating system. This implies that the buildings for a period was supplied with an insufficient amount of heat to maintain the indoor temperature. It has been assessed whether thermally stored energy in the building can compensate for the lack of supplied heat, and thus contribute to maintaining an acceptable indoor temperature. The possible scale of the input heat reduce has been examined, as well as the heat capacity in the buildings.

The subject of the experiment were two office buildings, located at Skøyen in Oslo. The experiment was conducted during weekends, when the ventilation system was inactive and employees were not present. The regulator controlling the heating of the building, were adjusted to operate as if the outdoor temperature were greater than the actual temperature. This way, the buildings were insufficiently supplied with heat to maintain the indoor temperature.

The outdoor temperature was manipulated to 10 °C and 20 °C higher than the actual outdoor temperature. The manipulation caused the regulator to reduce the temperature of the water circulating in the radiators in the building. The adjustment of the outdoor temperature took place during a six hour period, and the buildings indoor temperature and the buildings heat load were then measured. Every manipulation was tested three times. The results of the experiment showed that it was possible to reduce the heat supply to the buildings over a six hour period, and still maintain an acceptable indoor temperature. The procedure with the greatest impact, gave in average a heat load reduction of 4,2 W/m<sup>2</sup> for building number one and 12 W/m<sup>2</sup> for building number two. The procedure resulted in an average fall in indoor temperature, over a period of six hours, of no more than 0,7 °C for building number one and no more than 2,0 °C for building number two. The calculation of the heat capacity showed

similar results, were building number two had the greatest heat capacity. Building number one had a heat capacity of 21 Wh/m<sup>2</sup> and building number two had 32 Wh/m<sup>2</sup>.

## Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på våre femårige studier i Industriell Økonomi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), fakultet for realfag og teknologi. Det har vært både morsomt og lærerikt å være student ved NMBU. Det sosiale miljøet ved dette universitet er helt unikt, og det blir vemodig å ta farvel med dette stedet om ikke så lenge.

Arbeidet med masteroppgaven har vært både spennende og utfordrende, og vi har hatt stor glede av samarbeidet oss imellom. Det har vært fint å være to om både oppturer og nedturer.

Vi ønsker først og fremst å takke vår hovedveileder ved NMBU, ved fakultet for realfag og teknologi, Odd-Ivar Lekang, for gode råd og diskusjoner. Videre ønsker vi å takke vår biveileder i Hafslund Varme AS, Øyvind Nilsen. Dine innspill hadde mye å si for utformingen av oppgaven og problemstillingen. Vi retter også en stor takk til vår kontaktperson i Hafslund Varme AS, Anders Westin. Takk for at du viste stor interesse for arbeidet vårt og fulgte oss opp hele veien. En stor takk også til øvrige i Hafslund Varme AS og Norsk Energi for informasjon og hjelp underveis.

Til slutt ønsker vi å takke familie og venner for effektiv korrekturlesing, støtte og oppmuntring.

Ås, mai 2017

---

Marthe Christensen

---

Nikolai Huisman Moskvil





# Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	I
Abstract .....	III
Forord.....	V
Innholdsfortegnelse.....	VII
Liste over figurer.....	X
Liste over tabeller .....	XI
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon .....	1
1.2 Problemstilling .....	3
1.2.1 Avgrensninger.....	3
2 Teori.....	5
2.1 Fjernvarmenett .....	5
2.1.1 Temperaturregulering .....	6
2.1.2 Mengderegulering .....	7
2.1.3 Termostatiske radiatorventiler .....	8
2.2 Fjernvarmenettet til Hafslund Varme.....	9
2.2.1 Oppbygning av fjernvarmenettet .....	9
2.2.2 Variasjon i fjernvarmeproduksjon .....	11
2.2.3 Prissetting.....	14
2.2.4 Hafslund Varme i utvikling .....	15
2.3 Varmetransport i bygg.....	16
2.3.1 Varmedledning, konveksjon og varmestråling .....	16
2.3.2 U-verdi .....	16
2.3.3 Varmekapasitet og termisk diffusivitet.....	17
2.4 Energibalanse i bygg .....	18

2.5	Termisk energilagring .....	19
2.6	Inneklima.....	20
2.6.1	Innetemperatur på arbeidsplassen .....	20
2.7	Ventilasjon i bygg .....	21
2.8	Energibruk i et representativt kontorbygg.....	22
2.9	Tidligere arbeid .....	23
2.9.1	Bygg som kortvarige termiske energilager .....	23
2.9.2	Systemimplementering av termisk energilagring i bygg .....	24
3	Materiale og metode .....	27
3.1	Forsøksbetingelser.....	27
3.1.1	Fasiliteter.....	27
3.1.2	Beskrivelse av bygg 1 .....	27
3.1.3	Beskrivelse av bygg 2 .....	27
3.2	Gjennomføring av forsøk .....	28
3.2.1	Forskyvning av fyringskurve .....	29
3.3	Registrering og databehandling.....	31
3.3.1	Kalibrering av temperaturloggere .....	31
3.3.2	Plassering av temperaturloggere .....	32
3.3.3	Registrering av innetemperatur.....	32
3.3.4	Innhenting av data for effektuttak og utetemperatur.....	32
3.4	Beregning av reduksjon i effektuttak ved forsøk .....	33
3.5	Beregning av varmekapasitet .....	36
4	Resultater .....	39
4.1	Normalvariasjon i innetemperatur.....	39
4.2	Endring i innetemperatur med tiltak A.....	41
4.3	Endring i innetemperatur med tiltak B .....	45
4.4	Endring i effektuttak med tiltak A og B.....	49

4.5	Samling av resultatene fra tiltak A og B .....	53
4.6	Beregning av varmekapasitet i byggene.....	55
5	Diskusjon .....	57
5.1	Gjennomføring av forsøk .....	57
5.2	Resultatene .....	58
5.2.1	Normalvariasjon i innetemperatur .....	58
5.2.2	Endring i innetemperatur under tiltak .....	59
5.2.3	Reduksjon i effektuttak under tiltak.....	60
5.2.4	Varmekapasitet .....	61
5.3	Sammenligning med tidligere arbeid .....	62
5.4	Veien videre .....	63
6	Konklusjon.....	65
	Referanser .....	i
	Vedlegg A – Innetemperatur en normal arbeidsuke .....	i
	Vedlegg B – Innetemperatur med tiltak A i bygg 1 og 2.....	ii
	Vedlegg C – Innetemperatur med tiltak B i bygg 1 og 2.....	iv
	Vedlegg D – Mail fra kontakter i Hafslund Varme AS .....	vi

## Liste over figurer

Figur 2.1: Fjernvarme fra brensel til produkt (Norsk Fjernvarme).....	5
Figur 2.2: Prinsippskisse av fjernvarmenettet fram til kunde .....	10
Figur 2.3: Totalproduksjon i fjernvarmenettet i 2016.....	11
Figur 2.4: Variasjon i produksjon for en representativ dag i hver måned i 2016. ....	12
Figur 2.5: Bruk av forskjellige brensler et representativt vinterdøgn (5. januar) i 2016. ....	13
Figur 2.6: Representativt energibruk fordelt på forbruksområder i kontorbygg .....	22
Figur 3.1: Forskyvning av fyringskurve for bygg 1.....	29
Figur 3.2: Regulator i bygg 1, av typen Siemens RVL 480.....	29
Figur 3.3: Grunnlag for beregning av avvik i turtemperatur for bygg 2.....	30
Figur 3.4: Regulatoren i bygg 2, av typen TAC 2112 .....	30
Figur 3.5: Effektuttak for bygg 1 ved ulike utetemperaturer .....	33
Figur 3.6: Effektuttak for bygg 2 ved ulike utetemperaturer .....	34
Figur 3.7: Estimert effektuttak er middelerdi – 1,64 standardavvik .....	35
Figur 4.1: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 1 i en representativ vinteruke. ....	39
Figur 4.2: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 2 i en representativ vinteruke. ....	40
Figur 4.3: Gjennomsnittlig innetemperatur i bygg 1 for tre forsøk med tiltak A. ....	41
Figur 4.4: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 1 for tre forsøk med tiltak A. ....	42
Figur 4.5: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak A.....	43
Figur 4.6: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak A. ....	44
Figur 4.7: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 1 for tre forsøk med tiltak B. ....	45
Figur 4.8: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 1 for tre forsøk med tiltak B.. ....	46
Figur 4.9: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak B. ....	47
Figur 4.10: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak B. ....	48
Figur 4.11: Bygg 1 med tiltak A .....	49
Figur 4.12: Bygg 1 med tiltak B .....	50
Figur 4.13: Bygg 2 med tiltak A .....	51
Figur 4.14: Bygg 2 med tiltak B .....	52

## Liste over tabeller

Tabell 2-1: Energiledd og effektled for næringskunder hos Hafslund Varme AS .....	14
Tabell 3-1: Sammenligning av temperaturloggere mot referansetermometer .....	31
Tabell 4-1: Gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak for bygg 1 .....	53
Tabell 4-2: Gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak for bygg 2 .....	54
Tabell 4-3: Varmekapasitet ( $C_{\text{bygg}}$ ) .....	55



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon

Hafslund Varme AS, heretter kalt Hafslund Varme, produserer og leverer fjernvarme i Oslo. Et fjernvarmenett er et kretssystem som forsyner bygg med energi i form av varmt vann. Varmen fra fjernvarmevannet overføres til byggets eget kretssystem, før vannet distribueres tilbake til en varmesentral for ny oppvarming. I en varmesentral varmes vannet opp av ulike produksjonsenheter. Hafslund Varme benytter hovedsakelig overskuddsenergi fra avfallsforbrenning og elektrisitet for å dekke etterspørselen av varme. Disse produksjonsenhetene kalles grunnlast. Grunnlast brukes gjerne gjennom hele året fordi de er kostnadseffektive og leverer store mengder varme. Utfordringen er at fjernvarmeforbruket varierer mye gjennom en sesong og gjennom et døgn. Sesongvariasjoner skyldes i stor grad at behovet for oppvarming avhenger direkte av utetemperaturen, noe som medfører høyt forbruk når det er kaldt ute. Endring i forbruket gjennom døgnet skyldes i større grad forbruksmønsteret til kundene. Forbruket i fjernvarmenettet har en markant økning i morgentimene og variert, men fallende forbruk utover dagen og mot natten. Dette stiller krav til at produksjonsenhetene må være fleksible. Grunnlasten i fjernvarmenettet er ikke fleksibel nok til å dekke en rask økning i forbruk, og det er derfor nødvendig å bruke spisslast. Spisslast er produksjonsenheter som brenner energirike brensler som pellets, bioolje, biodiesel, LNG (liquefied natural gas) og fossil olje. Disse produksjonsenhetene gjør det lettere å dekke hyppige variasjoner i forbruk, men de er mer kostbare enn grunnlast. Bruk av spisslast fra fossile brensler fører også til utslipp av klimagasser. Det er derfor ønskelig å redusere bruken av spisslast. Variasjon i forbruket fører også til at fjernvarmenettet må bygges for å takle effekttopper som inntreffer i korte perioder. Dette fører til lav utnyttelse av tilgjengelig kapasitet i fjernvarmenettet.

Det finnes flere metoder for å redusere variasjonen i effektbehov i fjernvarmenettet. Det skilles mellom tiltak som gjennomføres på produksjonssiden og på forbrukssiden. På produksjonssiden er det fordelaktig å lagre varme slik at den kan distribueres på et senere tidspunkt. Dette kan gjøres med store akkumulatortanker, som kan lagre varmt vann. Det er også mulig å øke temperaturen på vannet som distribueres i fjernvarmenettet, og på den måten få overført mer energi per volumenhet med vann. På forbrukssiden benyttes metoder for å jevne ut effektuttaket til det enkelte bygg. Dette er mulig ved å kontrollere driften av både

ventilasjonsanlegg og oppvarmingssystemer, men det er også mulig å benytte byggets evne til å lagre varme.

I denne oppgaven er det undersøkt en metode for å jevne ut effektbehovet i fjernvarmenettet. Det har blitt gjennomført forsøk i to kontorbygg som ligger på Skøyen i Oslo. Det er ønskelig å redusere varmetilførselen til enkelte bygg for å forsøke å redusere byggets effektuttak i perioder hvor effektbehovet i fjernvarmenettet er stort. Dette betyr at i en periode blir byggene tilført mindre varme enn det som er nødvendig for å opprettholde innnetemperaturen. I denne oppgaven undersøkes det hvorvidt termisk lagret energi i en bygningskonstruksjon kan kompensere for en reduksjon i varmetilførsel, og på den måten bidra til en akseptabel innnetemperatur. Reduksjon i effektuttak ved å redusere varmetilførselen til byggene har blitt beregnet, det samme har varmekapasiteten til byggene.



## 1.2 Problemstilling

Hva er potensialet for å redusere effektuttak i to kontorbygg tilknyttet fjernvarmenettet til Hafslund Varme?

Forskningsspørsmål til forsøk på to kontorbygg:

1. Hvordan endres innetemperatur ved redusert varmetilførsel?
2. Hvor mye reduseres effektuttaket ved redusert varmetilførsel?
3. Hva er varmekapasiteten til byggene?

### 1.2.1 Avgrensninger

Byggenes effektuttak i timene etter endt forsøk ble ikke undersøkt. Endring i energiforbruk for forsøksbyggene har ikke blitt undersøkt. Det vil si at det ikke har blitt undersøkt om byggets energiforbruk steg eller sank som følge av forsøk.

Tiltak for å bedre den termiske lagringskapasiteten i byggene har ikke blitt undersøkt. Dette skyldes at oppgaven baserte seg på tiltak som kunne utføres på eksisterende bygningsmasse, uten større ombygginger.

Alle forsøk ble gjennomført i helger, og uten aktivt ventilasjonsanlegg. Dette valget ble gjort fordi Hafslund Varme har opplevd at bygg med store ventilasjonsanlegg får raskt fall i innetemperatur. Redusert varmetilførsel har i disse tilfellene ført til at ventilasjonsluften ikke ble varmet opp til ønsket temperatur (Nilsen 2017). I slike bygg vil det derfor være nødvendig med tiltak på ventilasjonsanlegget før varmetilførselen kan reduseres.

Det har ikke blitt lagt vekt på å vurdere hva som er behagelig inneklime. Det har kun blitt målt hvordan innetemperaturen ble endret som følge av forsøk.

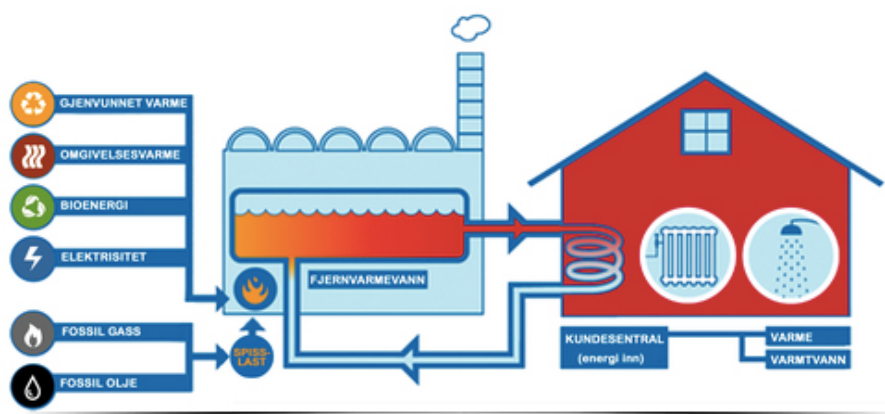


## 2 Teori

### 2.1 Fjernvarmenett

Et fjernvarmenett leverer energi som hovedsakelig brukes til innendørsoppvarming og til oppvarming av tappevann (Figur 2.1). Fjernvarmenettet fungerer som et kretssystem, der oppvarmet vann distribueres til kundene. Alle kunder har en egen kundesentral i sitt bygg. I kundesentralen kobles byggets oppvarmingssystem til fjernvarmenettet. Her overføres det energi fra fjernvarmevannet til kundens eget oppvarmingssystem ved bruk av varmevekslere. Fjernvarmevannet fraktes deretter tilbake til en varmesentral der det varmes opp på nytt.

For å benytte fjernvarme er det nødvendig at bygget har et oppvarmingssystem bestående av vannbåren gulvvarme, ventilasjonsanlegg med vannbasert oppvarming eller radiatorer. Et bygg kan ha flere varmevekslere til forskjellige kretser, for eksempel til radiator- og ventilasjonskrets. Vannet som sirkulerer i en krets beskrives ved tur- og returtemperatur. Vannet som går inn i en krets har en turtemperatur, og vannet som går ut av en krets har en returtemperatur (Hafslund Varme AS 2013).



Figur 2.1: Fjernvarme fra brensel til produkt (Norsk Fjernvarme).

Oppvarmingsbehovet til en bygning varierer på grunn av utetemperatur, sol, vind og intern varmetilførsel fra personer og teknisk utstyr. Som følge av varierende oppvarmingsbehov er det nødvendig å regulere hvor mye varme som avgis fra radiatorene. Det gjøres ved temperatur- og mengderegulering. Temperaturregulering innebærer at turtemperaturen til radiatorkretsen reguleres i forhold til utetemperatur. For å oppnå ønsket innetemperatur i hvert

enkelt rom i bygget er det behov for å regulere varmetilførselen i hvert rom. Dette gjøres ved å regulere mengden vann som sirkulerer i radiatorene, som kalles mengderegulering (Stensaas 1996).

### 2.1.1 Temperaturregulering

Følgende utledning viser hvordan turtemperaturen i en radiator krets beregnes (Stensaas 1996 s. 71-73). I dette tilfellet antas det at den sirkulerte vannmengden i kretsen er tilnærmet konstant, og at byggets effektuttak er proporsjonalt med temperaturdifferansen mellom inne- og utetemperatur. Dimensjonerende temperatur er den maksimale temperaturen anlegget er dimensjonert for å tåle.

Formel 1 viser forholdet mellom radiatorens varmeeffekt,  $\phi$  [W], og radiatorens maksimale varmeeffekt ved dimensjonerende utetemperatur,  $\phi_{maks}$  [W]:

$$\frac{\phi}{\phi_{maks}} = \frac{T_R - T_0}{T_R - T_{0\ min}} \quad (1)$$

der  $T_R$  [°C] er ønsket romtemperatur,  $T_0$  [°C] er utetemperatur og  $T_{0\ min}$  [°C] er dimensjonerende utetemperatur.

Temperaturdifferansen mellom radiator og romluft antas å være 60 °C. Dette gjelder når dimensjonerende tur- og returtemperatur er fastsatt til henholdsvis 90 og 70 °C, og dimensjonerende romtemperatur er fastsatt til 20 °C. Middelttemperaturen for tur- og returtemperatur er følgelig 80 °C. Differansen mellom middelttemperatur i radiator kretsen og romtemperatur er 60 °C.

Videre er det er mulig å utlede Formel 2 for turtemperatur på radiator kretsen,  $T_t$  [°C]:

$$T_t = T_R + 0,5 \cdot \frac{T_R - T_0}{T_R - T_{0\ min}} \cdot (T_{t\ maks} - T_{r\ maks}) + 60 \cdot \left( \frac{T_R - T_0}{T_R - T_{0\ min}} \right)^{0,752} \quad (2)$$

der  $T_{t\ maks}$  [°C] er dimensjonerende turtemperatur og  $T_{r\ maks}$  [°C] er dimensjonerende returtemperatur.

Med  $T_R = 20\text{ °C}$ ,  $T_{t\ maks} = 90\text{ °C}$ ,  $T_{r\ maks} = 70\text{ °C}$  og  $T_{0\ min} = -20\text{ °C}$  (dimensjonerende utetemperatur) blir uttrykket for turtemperaturen til radiatorkretsen,  $T_t[\text{°C}]$ , kompensert for utetemperaturen,  $T_0[\text{°C}]$ , som vist i Formel 3:

$$T_t = 20 + 0,25 \cdot (20 - T_0) + 60 \cdot \left(\frac{20 - T_0}{40}\right)^{0,752} \quad (3)$$

### 2.1.2 Mengderegulering

Mengderegulering tar utgangspunkt i konstant turtemperatur, og justerer varmetilførselen ved å regulere vannmengden i radiatorkretsen. Varmetilførselen justeres etter innetemperatur, eksempelvis ved termostatiske radiatorventiler som åpnes eller lukkes basert på innetemperaturen. Sammenhengen mellom sirkulert vannmengde,  $q\ [\text{m}^3/\text{s}]$ , og radiatorens varmeeffekt,  $\phi\ [\text{W}]$ , er gitt i Formel 4 og 5 (Stensaas 1996 s. 76-77):

$$\frac{q}{q_{maks}} = \frac{(T_{t\ maks} - T_{r\ maks}) \cdot \frac{\phi}{\phi_{maks}}}{2 \cdot (T_{t\ maks} - T_R) - 120 \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_{maks}}\right)^{0,752}} \quad (4)$$

der  $q_{maks}\ [\text{m}^3/\text{s}]$  er vannmengden anlegget er dimensjonert for.

Videre gir  $T_{t\ maks} = 90\text{ °C}$ ,  $T_{r\ maks} = 70\text{ °C}$  og  $T_R = 20\text{ °C}$  relativ sirkulert vannmengde i Formel 5:

$$\frac{q}{q_{maks}} = \frac{\frac{\phi}{\phi_{maks}}}{7 - 6 \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_{maks}}\right)^{0,752}} \quad (5)$$

### 2.1.3 Termostatiske radiatorventiler

Ventilåpningen til en termostatisk radiatorventil er proporsjonal med forskjellen mellom innstilt temperatur og reell romtemperatur. Det betyr at det ikke er åpning på radiatorventilen med mindre det er en temperaturredifferanse mellom innstilt og reell temperatur. Alle termostatiske radiatorventiler har innstilling for hvor stor temperaturrediferansen må være før radiatorventilen åpner. Denne differansen kalles ventilens proporsjonalbånd, og fastsettes ved produksjon. Et stort proporsjonalbånd kan gi stor differanse mellom innstilt og reell temperatur. Et lite proporsjonalbånd gir liten differanse mellom innstilt og reell temperatur.

Varmetregghet i en radiator fører til at det tar tid fra radiatorventilen lukkes til varmeavgivelsen reduseres. Det betyr at for hver gang radiatorventilen lukkes vil det tilføres overflødig varme. Et lite proporsjonalbånd vil føre til at radiatorventilen åpnes og lukkes ofte, og på grunn av varmetregghet kan det føre til stadige svingninger i innetemperaturen.

Ved å kombinere mengderegulering med temperaturregulering vil turtemperaturen til radiatorene i bygget bli justert for utetemperaturen, noe som letter arbeidet til de termostatiske radiatorventilene (Stensaas 1996 kap. 5-6).

## 2.2 Fjernvarmenettet til Hafslund Varme

Fjernvarmenettet til Hafslund Varme dekker omtrent 20 % av varmebehovet i Oslo, og i 2015 tilsvarte dette en produksjon på 1,6 TWh (Hafslund Varme AS 2017c). Til sammenligning ble det produsert totalt 5,4 TWh fjernvarme i Norge i 2015 (Norsk Fjernvarme).

Fjernvarmenettet til Hafslund Varme består av 12 produksjonsenheter, og det er tilknyttet 1100 næringsbygg, 3300 eneboliger/rekkehus og 883 boligblokker (Hafslund Varme AS 2017c).

Hafslund Varmes grunnlast kommer fra overskuddsenergi fra avfallsforbrenning, fra varmpumper som utnytter overskuddsenergi i avløpsvann og elektrisitet. I tillegg benyttes pellets, bioolje, biodiesel, LNG (liquefied natural gas) og fossil olje som spisslast. Hafslund Varme jobber for at all fjernvarmeproduksjon skal komme fra fornybare energikilder, og fossilt brensel skal fases helt ut. I 2016 kom 1,3 % av energiproduksjonen i Hafslund Varme sitt fjernvarmenett fra fossil gass og olje. Dette forbruket kommer hovedsakelig fra spisslastproduksjon i kalde perioder (Hafslund Varme AS 2017c).

### 2.2.1 Oppbygning av fjernvarmenettet

I publikasjonen ”Bestemmelser om tilknytning til Hafslund Varmes fjernvarmenett for nybygg” (Hafslund Varme AS 2017a) gis informasjon om oppbygging av fjernvarmenettet og ansvarsfordeling.

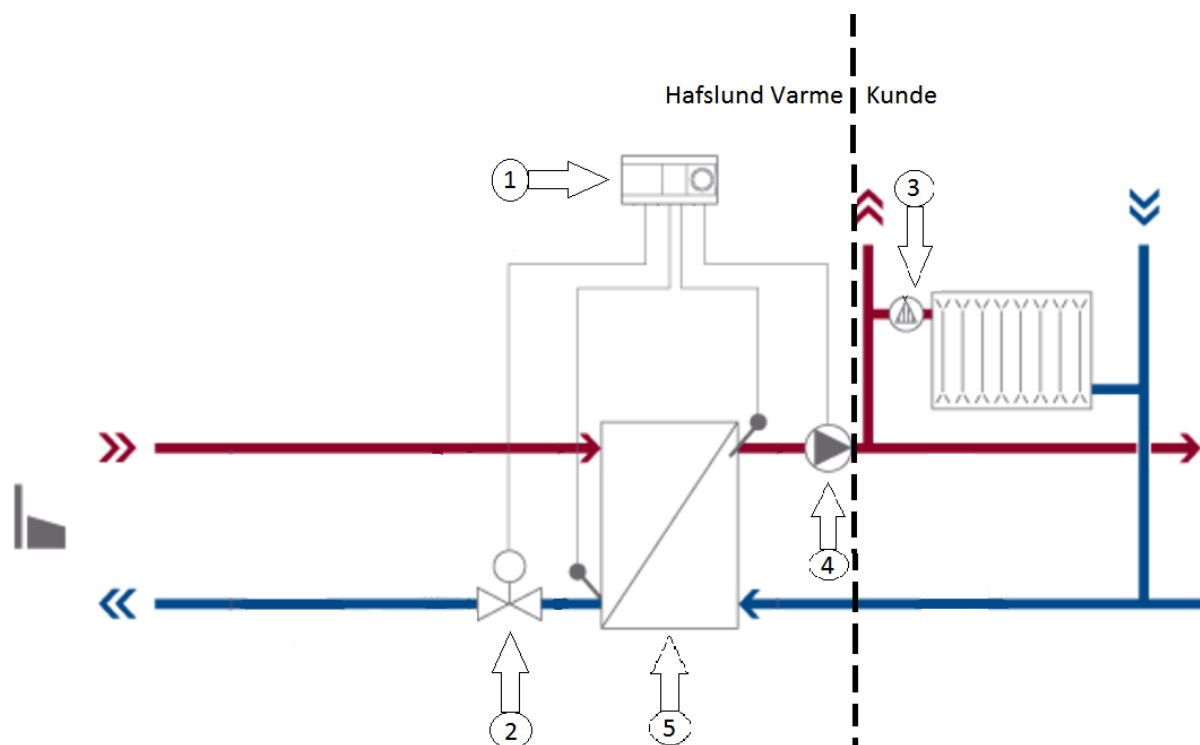
Fjernvarmenettet har et klart ansvarsskille mellom leverandør og kunde. Hafslund Varme har ansvar for systemet helt fram til og med varmeveksleren i kundesentralen (primærsiden), som overfører varme fra fjernvarmevannet til kundens eget vannsystem (sekundærsiden).

Fjernvarmenettet til Hafslund Varme er konstruert for en turtemperatur på 120 °C og 25 bar ved -20 °C utetemperatur. Turtemperaturen på primærsiden reguleres etter utetemperatur og effektbehovet i fjernvarmenettet.

Hafslund Varme har ansvar for turtemperaturen på sekundærsiden. Samtidig har kunden ansvar for at det hentes ut nok effekt på sekundærsiden. Derfor stiller Hafslund Varme krav til at en radiatorkrets skal være dimensjonert for maksimal turtemperatur på 60 °C og maksimal returtemperatur på 40 °C. Effektuttak beregnes basert på forskjellen på tur- og returtemperatur, og strømningshastigheten til vannet. Kunden har derfor ansvar for returtemperaturen når vannet returnerer til varmeveksleren.

Hafslund Varme sikrer turtemperaturen på sekundærsiden ved hjelp av temperaturregulering. En regulator på primærsiden får signal om turtemperaturen på sekundærsiden, samt utetemperatur. Sammenhengen mellom turtemperaturen på sekundærsiden og utetemperatur er gitt i en fyringskurve. Turtemperaturen avtar ved økende utetemperatur, slik at regulatoren styrer turtemperatur avhengig av utetemperatur. En normal fyringskurve for en radiatorkrets er innstilt på en turtemperatur på 60 °C ved en utetemperatur på -20 °C, og 20 °C ved utetemperatur på +20 °C. Basert på fyringskurven struper eller åpner regulatoren en ventil på primærsiden, som reduserer vannmengden som strømmer på primærsiden av varmeveksleren. Dermed reduseres varmeavgivelsen fra primærsiden til sekundærsiden. Slik sikres riktig turtemperatur i sekundæranlegget. Mengderegulering styres i sekundæranlegget, og dette er ikke Hafslund Varme sitt ansvar (Figur 2.2).

Dersom et bygg har flere separate kretser, har hver krets egen varmeveksler, regulator og fyringskurve.

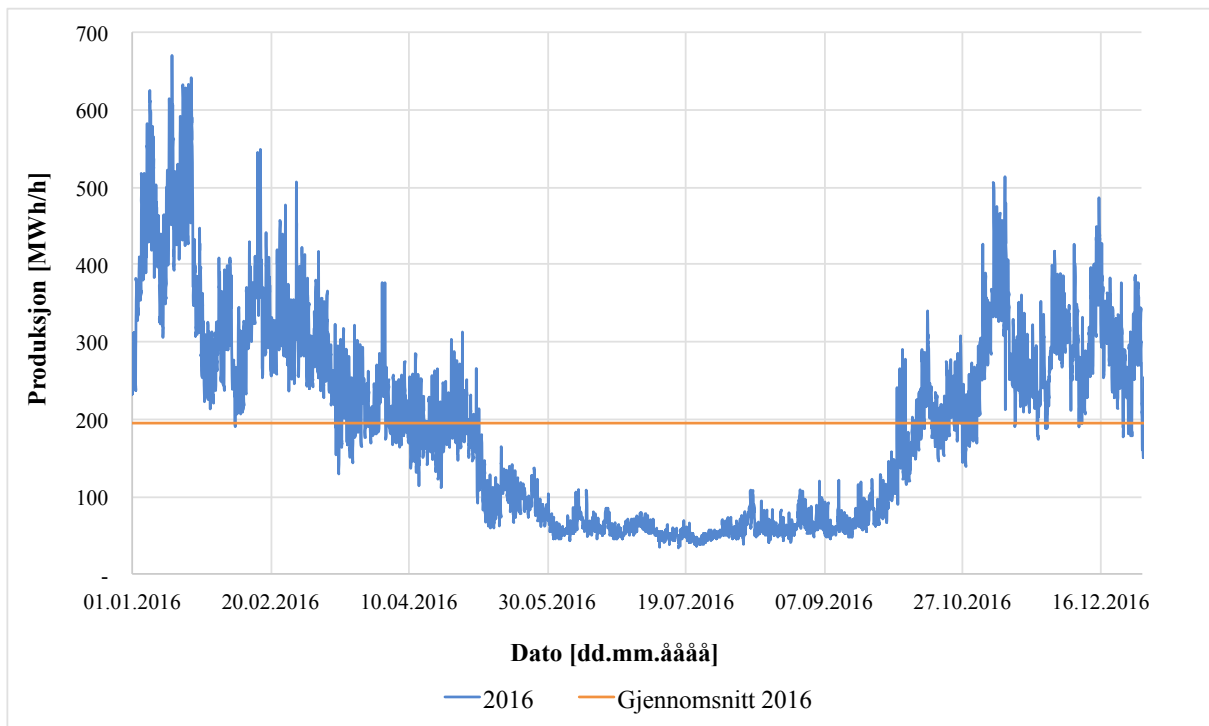


Figur 2.2: Prinsippskisse av fjernvarmenettet fram til kunde. Hafslund Varme har ansvar for primærsiden fram til og med varmeveksleren (5), mens kunden har ansvar for sitt eget varmesystem, som markert med stiplede linje (sekundærsiden). Temperaturreguleringen styres av regulatoren (1), som måler turtemperatur (4) på sekundærsiden av varmeveksleren (5) og styrer ventilen (2) på primærsiden. Mengdereguleringen skjer ved radiatoren, ved hjelp av en termostatisk radiatorventil (3) (Basert på Danfoss (2017)).



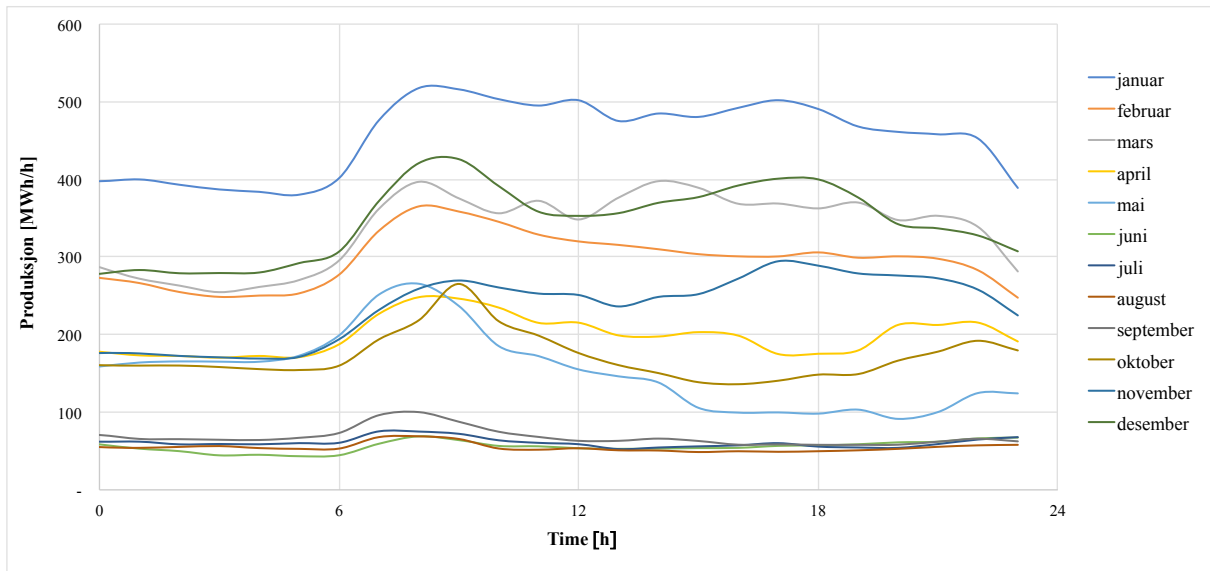
## 2.2.2 Variasjon i fjernvarmeproduksjon

All data som er presentert i dette delkapittelet (2.2.2 Variasjon i fjernvarmeproduksjon) er basert på rådata gitt av Hafslund Varme. Produksjonen i fjernvarmenettet varierer mye gjennom en sesong, men det er også stor forskjell på produksjon mellom natt og dag. Det største forbruksområdet i fjernvarmenettet er innendørsoppvarming og effektbehovet varierer derfor med utetemperatur (Hafslund Varme AS 2017c). Derfor ser man at produksjonen er størst i månedene med kaldt klima, januar, februar, november og desember. Gjennomsnittlig timesproduksjon for hele 2016 var 194 MW. Den høyeste timesproduksjon var 670 MW og laveste timesproduksjon var 30 MW. Fordelingen av produksjon gjennom sesongen viser at majoriteten av fjernvarmeproduksjonen skjer i perioden fra oktober til mai (Figur 2.3).



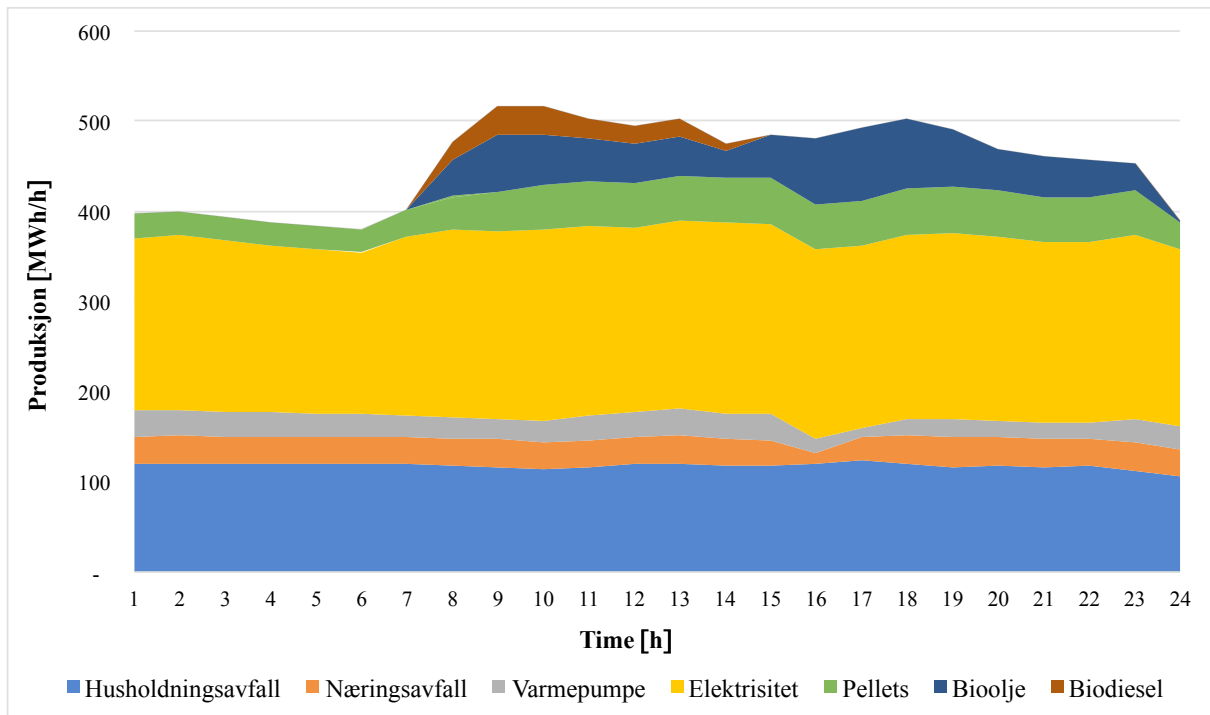
Figur 2.3: Totalproduksjon i fjernvarmenettet i 2016.

Produksjonen varierer også betydelig mellom dag og natt. Et typisk døgn er produksjonen lav om natten, med påfølgende markant økning i morgentimene mellom kl. 6 og 9. Dette skyldes økt forbruk blant kundene. Blant annet aktiverer næringsbygg ofte ventilasjonsanlegget i denne perioden. Deretter varierer produksjonen noe resten av dagen, men ofte med en synkende trend. Det er i månedene mellom oktober og mai produksjonen varierer mest i løpet av et døgn (Figur 2.4).



Figur 2.4: Variasjon i produksjon for en representativ dag i hver måned i 2016.

En representativ dag i januar, 5. januar, viste at produksjon basert på husholdningsavfall, næringsavfall og varmepumpe var forholdsvis jevn gjennom hele døgnet. Elektrisitet og pellets ble også benyttet gjennom hele døgnet, med økt produksjon i perioden mellom kl. 7 og 23. Bioolje ble bare brukt i perioden mellom kl. 7 og 23, mens biodiesel ble brukt hovedsakelig i morgentimene, med produksjon i perioden mellom kl. 7 og 15 (Figur 2.5).



Figur 2.5: Bruk av forskjellige brensler et representativt vinterdøgn (5. januar) i 2016.

### 2.2.3 Prissetting

Følgende er gitt i Energiloven (1990): ”Prisen for fjernvarme skal ikke overstige prisen for elektrisk oppvarming i vedkommende forsyningsområde” (§ 5-5). Hafslund Varme garanterer at fjernvarmeprisen skal være 2 % lavere enn prisen på elektrisitet. For næringsbygg består fjernvarmeprisen av et energiledd og et effektledd. Energileddet er et fast ledd, og kunden betaler for totalt forbruk av kWh i en måned. Effektleddet beregnes utfra det høyeste timesmålte effektuttaket i løpet av en måned. Siden kostnadene i fjernvarmenettet er høyere i kalde perioder med stor belastning, er effektleddet fastsatt på månedsbasis (Tabell 2-1) (Hafslund Varme AS 2017b).

Tabell 2-1: Energiledd og effektledd for næringskunder hos Hafslund Varme AS (Hafslund Varme AS 2017b).

	Energiledd [øre/kWh]	Effektledd [kr/kW/mnd]
Februar 2017	54,03	150
Januar 2017	54,33	150
Desember 2016	55,62	139
November 2016	62,40	76
Oktober 2016	53,56	11
September 2016	45,28	11
August 2016	43,51	11
Juli 2016	45,01	11
Juni 2016	45,88	11
Mai 2016	44,56	11
April 2016	43,95	11
Mars 2016	46,02	76
Februar 2016	44,49	139
Januar 2016	58,99	139

#### 2.2.4 Hafslund Varme i utvikling

Hafslund Varme ser på ulike metoder for effektstyring, men det er fortsatt usikkert hvilke metoder som vil bli benyttet i framtiden. Aktuelle metoder er å endre effektledet, styre effektuttaket direkte eller implementere komponenter som automatisk styrer fjernvarmenettet mer optimalt (Westin 2017). Det finnes mange forskjellige kundesentraler med tilhørende regulatorer. For å styre nettet enten direkte eller automatisk, vil det bli større behov for å kommunisere med regulatorene i det enkelte bygg. I dag er det mulig å fjernstyre fyringskurven i regulatoren til ca. 600 kundesentraler (Koren 2017).

Hafslund Varme skal også sette i gang et prøveprosjekt høsten 2017 med effektbegrensning hos enkelte kunder (Inderhaug 2017). De nye regulatorene får kontinuerlig signal om effektuttaket, i motsetning til dagens regulatorer som bare styrer etter turtemperatur. Dette gjør det mulig å sette en begrensende effektkurve i regulatoren. Effektkurven gir forholdet mellom utetemperatur og effektuttak, mens fyringskurven gir forholdet mellom utetemperatur og turtemperatur på sekundærsiden. Regulatoren styrer etter fyringskurven helt til effektuttaket begrenses av effektkurven. Det gjør kunden mindre sårbare for enkelte timer med unormalt høye effektuttak (Henriksen 2017).

Mailkorrespondansen som ligger til grunn for dette delkapittelet er gjengitt i Vedlegg D.

## 2.3 Varmetransport i bygg

### 2.3.1 Varmeledning, konveksjon og varmestråling

Varmeledning er transport av varmeenergi, der det overføres bevegelsesenergi mellom molekylene i et stoff. Det er nødvendig med en temperaturforskjell for å få overført bevegelsesenergi. Molekyler med høyere temperatur overfører bevegelsesenergi til molekyler med lavere temperatur. Varmeledning skjer i både gasser, væsker og faste stoffer.

Konveksjon er oppvarming eller avkjøling av væsker og gasser, heretter kalt fluidet, ved kontakt med en materialoverflate. Noe av fluidet er i kontakt med overflaten, og ved strømming overføres den temperaturøkningen/ -senkningen fluidet opplever til omkringliggende fluid. Konveksjon avhenger av både fluidets og overflatens egenskaper. For fluidet spiller temperatur og strømmingstype en stor rolle. For overflaten vil temperatur, form, ruhet og dimensjon være av betydning. Ved fri konveksjon drives strømmingen av temperaturforskjell mellom fluidet og overflaten. Tvungen konveksjon drives av en ytre kraft, som for eksempel ved hjelp av en vifte eller ventilasjon.

Varmestråling er elektromagnetisk stråling. Alle legemer som har høyere temperatur enn det absolutte nullpunkt,  $-273\text{ °C}$ , stråler ut energi i form av varme i både faste stoffer, væsker og gasser. Legemets temperatur avgjør hvor mye energi det stråler ut. Varme legemer stråler ut mer energi enn kalde legemer.

### 2.3.2 U-verdi

I en bygningskonstruksjon er det viktig med god isolering mot uteomgivelsene slik at minst mulig varme tapes. En varmegjennomgangskoeffisient, U-verdi, angir evnen en konstruksjon har til varmeisolasjon. U-verdi beskriver hvor mye varme som går gjennom en konstruksjon i stasjonær tilstand når det er en temperaturforskjell på 1 K mellom luften på hver side av konstruksjonen. En lav U-verdi tilsier bedre varmeisolasjon enn en høyere verdi.

### 2.3.3 Varmekapasitet og termisk diffusivitet

Forholdet mellom varme som tilføres eller avgis fra et stoff og den tilhørende temperaturforandringen defineres som varmekapasitet,  $C$  [J/K]. Spesifikk varmekapasitet,  $c$ , er oppgitt per masseenhed [J/kg K] eller molenhet [J/mol K] av et stoff. Volumetrisk varmekapasitet,  $c \cdot \rho$  [J/m<sup>3</sup> K], er et produkt av spesifikk varmekapasitet,  $c$  [J/kg K], og materialtettheten til stoffet,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>].

Termisk diffusivitet,  $\alpha$  [m<sup>2</sup>/s], er uttrykk for forholdet mellom volumetrisk varmekapasitet,  $c \cdot \rho$  [J/m<sup>3</sup> K], og stoffets varmeledningsevne,  $k$  [W/mK], som vist i Formel 6:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (6)$$

Termisk diffusivitet uttrykker hvor fort varme forplanter seg. Varmeledningsevnen forteller hvor effektivt varme overføres. I et stoff med høy ledningsevne vil varme forplante seg fort, mens stor spesifikk varmekapasitet og høy materialtetthet vil gjøre at varme sprer seg saktere.

## 2.4 Energibalanse i bygg

I et bygg vil det til enhver tid være sammenheng mellom tilført og avgitt energi. Ved stigende innetemperatur tilføres det mer energi til bygget enn det avgis til omgivelsene. Motsatt vil synkende innetemperatur være et resultat av at det tilføres mindre energi enn det som avgis. Ved stigende innetemperatur blir differansen mellom inne- og utetemperatur større. Dette fører til at mer energi blir avgitt fra bygget til omgivelsene. På samme måte vil lavere innetemperatur føre til mindre differanse mellom inne- og utetemperatur, og derfor mindre avgitt energi.

Dersom det tilføres like mye energi til et bygg som det avgis er det oppnådd energibalanse. Dette kalles for steady state. Dersom det antas steady state er varmetapet like stort som varmetilførselen, og innetemperaturen er konstant.

Varmetap skjer gjennom yttervegger, tak, gulv, vinduer og ventilasjonsanlegg. Varmetilførsel kommer fra radiatorer, ventilasjonsluft og interne varmetilskudd. Det største bidraget fra interne varmetilskudd i kontorbygg kommer fra belysning, og installert effekt er vanligvis 5-15 W/m<sup>2</sup> (Sintef Energiforskning 2007 s. 212).

Dersom værforhold, interne varmetilskudd eller varmetilførselen endrer seg, kan det oppstå en situasjon der varmetilførselen og varmetapet ikke er like store. Dette kalles unsteady state. Det vil si at det ikke er balanse mellom varmetap og varmetilførsel, og derfor endring i innetemperatur. I slike situasjoner vil lagret termisk energi i bygget være i endring. Dette fordi konstruksjonen har høyere varmekapasitet enn luften, og derfor større treghet for temperaturforandringer. Temperaturdifferansen som oppstår mellom konstruksjonen og romluften, fører til at termisk energi overføres (Sintef Energiforskning 2007 s. 165).

Antas unsteady state er det likevekt mellom varmetap på den ene siden, og varmetilførsel og termisk overført energi på den andre siden, som vist i Formel 7:

$$E_{termisk} + E_{varmetilførsel} = E_{varmetap} \quad (7)$$

der  $E_{termisk}$  [kWh] er overført termisk energi fra bygget til romluften,  $E_{varmetap}$  [kWh] er varmetapet fra bygget til omgivelsene, og  $E_{varmetilførsel}$  [kWh] er tilført varme til bygget.



## 2.5 Termisk energilagring

Termisk energilagring baserer seg på å lagre energi ved å kjøle, varme, smelte, fryse eller fordampe materialer, for så å reversere prosessen og hente ut den lagrede termiske energien.

Termisk energilagring er midlertidig, og kan benyttes for å lagre energi ved ulike temperaturer. De ulike systemene for lagring kan hovedsakelig deles inn i to grupper: lagring ved å øke temperaturen til et materiale (følbar endring) og lagring ved å endre materialets fase (latent endring). Ved følbar endring avhenger lagerets effektivitet av materialets spesifikke varmekapasitet og tetthet. Ved latent endring lagres termisk energi ved å endre et materiale fra fast til flytende eller fra flytende til damp uten å endre temperaturen til stoffet.

I fjernvarmenettet skilles det mellom kort- og langvarig lagring. Kortvarig lagring brukes for å takle effekttopper på noen få timer og opptil en dag. Langvarig lager, ofte kalt sesonglager, brukes ved behov for å lagre energi over noen uker til flere måneder. Dette brukes typisk dersom det er tilgang på overskuddsenergi også i perioder med lavt effektbehov (Dincer & Rosen 2011, s.187).

## 2.6 Inneklima

Astma- og allergiforbundet sier følgende om inneklima: ”Inneklima omfatter alle fysiske og kjemiske forhold som påvirker oss inne. Godt inneklima er viktig for helse, trivsel og læringsevne. Dårlig inneklima kan gi nedsatt funksjon og livskvalitet.” (Astma- og allergiforbundet). Inneklima er et samlebegrep for atmosfærisk, akustisk, aktinisk, mekanisk og termisk miljø. De fire førstnevnte innebærer henholdsvis luftforurensning, lyd- og lyspåvirkning og påvirkning fra fysiske omgivelser (innredning). Termisk miljø avhenger av innetemperatur, aktivitetsnivå, trekk og luftfuktighet (Sintef Energiforskning 2007 s. 100).

### 2.6.1 Innetemperatur på arbeidsplassen

Det er ikke gitt faste grenser for innetemperatur på arbeidsplassen i forskrifter eller lov, men Arbeidstilsynet anmoder at innetemperaturen ikke skal overstige 26 °C eller falle under 19 °C. I perioder med oppvarmingsbehov anbefaler Arbeidstilsynet at innetemperaturen skal være lavere enn 22 °C ved lett fysisk innearbeid, eksempelvis kontorarbeid (Arbeidstilsynet).

Det har blitt gjennomført mange forsøk for å undersøke korrelasjon mellom inneklima og produktivitet på arbeidsplassen. En artikkel skrevet av Seppanen et al. (2006) sammenstiller resultatene fra 24 studier som har testet hvordan evnen til å gjøre typiske kontoroppgaver, for eksempel tekstprosessering, beregninger og telefonsamtaler, avhenger av innetemperatur. Resultatene viste at prestasjonene økte proporsjonalt med temperatur opp til 21-22 °C. For innetemperaturer over 23-24 °C avtok prestasjonene med stigende temperatur. Det viste seg at produktivitet og prestasjon falt raskere for temperaturøkning over 24 °C enn for temperaturfall under 21 °C. Prestasjon og produktivitet ble ikke påvirket av innetemperaturer mellom 21 og 24 °C.

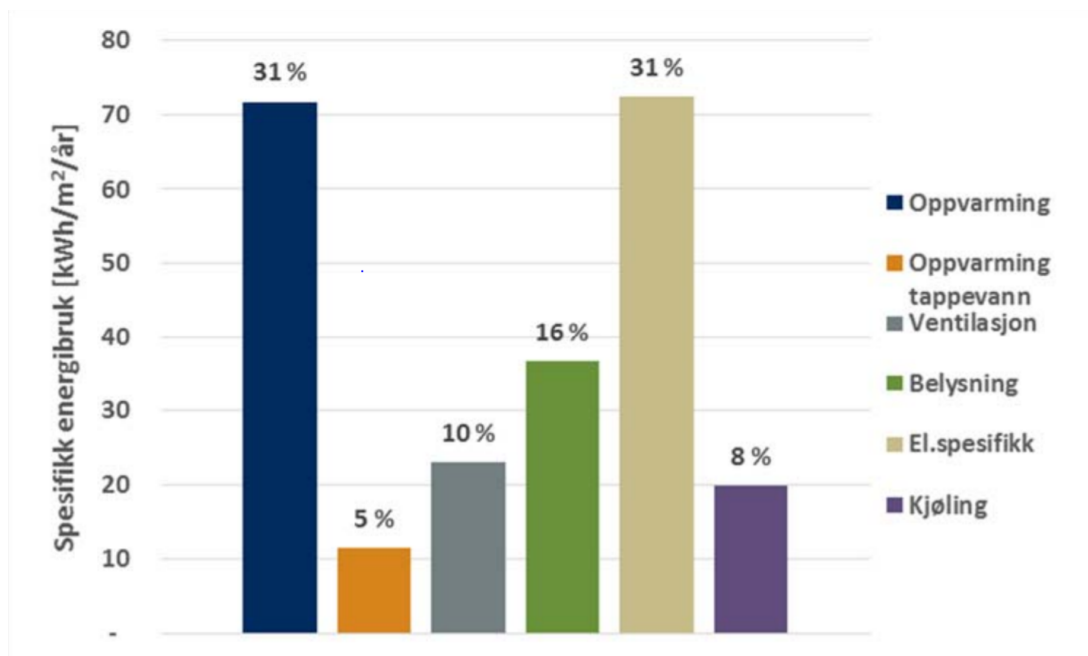
## 2.7 Ventilasjon i bygg

Ventilasjonen skal sikre tilstrekkelig ren og frisk luft. Det innebærer blant annet å fjerne lukt og forurensende gasser. To hovedtyper av ventilasjonsanlegg er oppdriftsanlegg og viftedrevne anlegg. Oppdriftsanlegg drives av naturlige termiske krefter (oppdrift eller vind) som oppstår på grunn av temperaturforskjell mellom inne- og uteluft, mens viftedrevne anlegg skaper drivtrykk i luften ved bruk av elektriske vifter. Det finnes flere typer av viftedrevne anlegg. Mekanisk avtrekksventilasjon tilfører luften gjennom spalteventiler i vinduer. Ulempen med mekanisk avtrekksventilasjon er at det føres inn uteluft som ikke er oppvarmet eller filtrert. Det brukes en avtrekksvifte til å trekke luft ut av bygget, og varmen fra denne luften blir ikke gjenvunnet. Mekanisk balansert ventilasjon tilfører uteluft som er filtrert og oppvarmet. Varmen fra inneluften gjenvinnes og overføres til uteluften ved hjelp av en varmegjenvinner (Stensaas 1999).

Behovsstyrt ventilasjon innebærer at ventilasjonen blir styrt etter behov, og ikke går med konstante luftmengder. Ventilasjonen i et bygg kan styres basert på temperatur, tidspunkt, CO<sub>2</sub>-nivå eller tilstedeværelse. På denne måten vil ventilasjonsanlegget være mer energieffektivt, og det er mulig å halvere energibehovet til ventilasjon i næringsbygg uten at det går på bekostning av inn klimaet (*Behovsstyrt ventilasjon* 2016).

## 2.8 Energibruk i et representativt kontorbygg

I følge en rapport fra Norges vassdrags- og energidirektorat (2016) er representativt energibruk i en kontorbygning 235 kWh/m<sup>2</sup>/år. Forbruket fordeler seg på seks forskjellige forbruksområder. Den største andelen av energiforbruket i et kontorbygg går til oppvarming og el. spesifikt forbruk. Hver utgjør 31 % av total spesifikk energibruk per m<sup>2</sup> per år. Oppvarming går både til romoppvarming og til oppvarming av ventilasjonsluft. El. spesifikt forbruk er samlet energibruk til kontorutstyr, heis, kantine, pumper, ladestasjon for el-bil, kjøkken og serverrom. Drift av ventilasjonsanlegget bruker 10 % av total spesifikk energibruk (Figur 2.6).



Figur 2.6: Representativt energibruk fordelt på forbruksområder i kontorbygg korrigert for Oslo klima og normalår (Norges vassdrags- og energidirektorat 2016 s. 19).

## 2.9 Tidligere arbeid

Fjernvarmebransjen er i utvikling. Dette gjenspeiles i tidligere forskningsarbeid, hvor det blant annet fokuseres på metoder for å jevne ut effektbehov i fjernvarmenett. Videre beskrives tidligere arbeid hvor det har blitt undersøkt potensialet for å benytte bygg som kortvarig termisk energilager.

### 2.9.1 Bygg som kortvarige termiske energilager

Andersson og Werner fant i 2006, ifølge Olsson Ingvarson og Werner (2008), at det teoretiske potensialet for å redusere daglig variasjon i effektbehovet i et fjernvarmenett, var betraktelig ved å benytte potensialet for termisk lagret energi i bygg. De antok at alle byggene i fjernvarmenettet i Göteborg ble benyttet. Da estimerte de at man kunne oppnå en reduksjon i effektbehovet på mellom 9- 54 MW ved å manipulere styringssystemet i byggene til å tro at utetemperatur var mellom 1 °C og 6 °C høyere enn den reelle utetemperatur. De antok en gjennomsnittlig tidskonstant for alle bygg på 100 timer.

Kensby (2015) undersøkte i sitt doktorgradsarbeid resultatet fra testene til Göteborg Energi. I perioden 2010-2011 testet Göteborg Energi kapasiteten for kortvarig termisk energilagring i fem boligblokker tilknyttet sitt fjernvarmesystem. Boligblokkene ble bygget i perioden fra 1934 til 1950, og de har mellom tre og fem etasjer. Fire av fem bygg har en bygningskonstruksjon basert på betong, og ble derfor kategorisert som tunge bygninger. Testene baserte å øke varmetilførselen til byggene i ni timer, etterfulgt av ni timer redusert varmetilførsel og til slutt tre timer med normal drift. Denne syklusen ble gjentatt flere dager på rad, og siden syklusen varte i 21 timer ble tidspunkt for redusert varmetilførsel forskjøvet med tre timer for hver dag. Dette gjorde testen mer robust mot forstyrrelser fra interne laster, beboernes bruksmønster og ytre faktorer som sollys.

Endring av varmetilførsel ble utført ved å påvirke regulatoren som styrte turtemperaturen på radiatorkretsen i byggene. Denne regulatoren styrer basert på en fyringskurve, som gir turtemperatur avhengig den reelle utetemperatur. For å oppnå økt varmetilførsel ble regulatoren endret slik at den styrte som om utetemperatur var lavere enn den faktisk var. Dermed ble turtemperaturen i radiatorkretsen høyere, og normalt økte også effektuttaket. Tilsvarende metode ble brukt å redusere varmetilførselen, der regulatoren styrte som om utetemperatur var høyere enn den faktisk var. Varmetilførselen ble økt eller redusert som om utetemperatur var mellom 2,5 °C og 7 °C høyere eller lavere enn reell utetemperatur.

Resultatet viste at byggene tålte en reduksjon i varmetilførsel, tilsvarende en utetemperatur 7 °C høyere enn reell utetemperatur, i ni timer med mindre enn 0,5 °C fall i innetemperatur. Resultatet var begrenset av at endring av utetemperaturen måtte være mindre eller lik 7 °C, siden studien ikke testet for noen tilfeller med større endring av utetemperaturen. De antok at endring i utetemperaturen mellom 2,5 °C og 7 °C var tilnærmet lineært med endring av innetemperatur og varmebehov. Dette førte til at resultatene var overførbare til lignende bygg.

Videre ble det beregnet tre parametere for å overføre resultatene fra testbygg til lignende bygg. Det ble beregnet termisk lagret energi per gulvareal, antall gradtimer og tidskonstant. Gradtimer ble beregnet som antall grader celsius endring av utetemperaturen multiplisert med antall timer testen varte. Det betyr at en reduksjon i varmetilførsel tilsvarende en utetemperatur 7 °C høyere enn reell utetemperatur i ni timer tilsvarte 63 gradtimer. Varigheten på testen ble begrenset av et krav om maksimalt fall i innetemperatur. Tidskonstanten ble beregnet ved å anta at en endring av utetemperaturen med 1 °C ville føre til at innetemperaturen i bygget falt med 1°C. Dette ble gjort ved å måle endring i innetemperatur over en gitt periode, og deretter beregne hvor mange timer det ville tatt før bygget hadde oppnådd 63 % av 1 °C endring i innetemperatur. Kensby (2015) argumenterte for at gradtimer og termisk lagret energi per gulvareal var de mest aktuelle parameterne å videreføre til bygg med lignende termiske egenskaper. Parameterne gjorde det lett å beregne termisk lagringsevne [kWh] i lignende bygg. For å beregne den termiske lagringsevnen til et lignende bygg var det nødvendig å kjenne endringen i effektuttak per grad endring i utetemperatur (stigningstallet til byggets effektkurve) eller byggets gulvareal.

### 2.9.2 Systemimplementering av termisk energilagring i bygg

Kensby et al. (2014) beskrev det teoretiske potensialet ved å implementere termisk energilagring i flere bygg i Göteborg Energi sitt fjernvarmenett. Dette ble gjort ved å undersøke et stort boligkompleks på 1000 leiligheter, som hadde lignende termiske egenskaper som fra testene utført av Göteborg Energi. De kunne dermed beregne hvor stor termisk lagringsevne komplekset hadde ved å multiplisere 63 gradtimer med stigningstallet til effektkurven for det aktuelle boligkomplekset. De fant at potensialet for å lagre termisk energi var 0,1 kWh/m<sup>2</sup>.

I sin masteroppgave simulerte Carlsson (2016) et styringssystem i et forsøk på å minimere kostnader til oppvarming i et bygg. Simuleringen var basert på data fra Göteborg Energi og

arbeidet til Kensby (2015). I simuleringen ble det antatt at energiprisen til kunden var proporsjonal med marginalkostnad for produksjon av fjernvarme. Det ble testet to ulike styringssystem som skulle redusere varmetilførselen. Det ene styringssystemet ble begrenset av et krav om maksimal tillatt variasjon i innetemperatur. Det andre styringssystemet hadde tilsvarende krav, men tok også hensyn til nåværende og fremtidig energipris i de neste 48 timene. Det betyr at styringssystemet til enhver tid vurderte når det ville være mest lønnsomt å redusere varmetilførselen. Det viste seg at styringssystemet som ikke tok hensyn til pris oppnådde 9,9 % reduksjon i varmeforbruk, og en kostnadsreduksjon på 6,5 %. Dette skyldtes at reduksjonen i varmeforbruk i stor grad inntraff på tidspunkter med lav energipris. Styringssystemet som tok hensyn til nåværende og fremtidig energipris oppnådde 7,3 % reduksjon i varmeforbruk og kostnadsreduksjon på 13,5 %.

Sirén (2014) sammenlignet termisk energilager i bygg med akkumulatortanker i sin masteroppgave. Studien baserte seg på fjernvarmenettet i Huddiksvall i Sverige. Tilgjengelig termisk lagringsevne i fjernvarmenettet ble beregnet ved å anta at alle bygg tålte en oppjustering av utetemperaturen på +7 °C over ni timer. Bygg som termisk lager var mer lønnsomt enn akkumulatortank inntil 20 % av den tilgjengelige termiske lagringsevnen i fjernvarmenettet var benyttet. Det viste seg altså at termisk lagring i bygg hadde smådriftsfordeler. Videre ble det funnet at termisk lager i bygg hadde en høyere avkastning per investerte krone og lavere tilbakebetalingstid enn investering i akkumulatortank. Dette skyldtes at investeringskostnaden for bygg som termisk lager var relativt mindre enn for akkumulatortanker.

Kensby et al. (2014) og Sirén (2014) analyserte ulike metoder for å styre et større antall bygg som termisk lager. En metode som ble foreslått var innføring av timeprising av energi, slik at kunden får et insentiv for å redusere effektuttaket når det er optimalt for fjernvarmesystemet. Videre kan fjernvarmeleverandøren installere utstyr for å styre når det skal lagres energi i byggene som er tilgjengelige. Dette krever en kontrakt mellom kunde og fjernvarmeleverandør. Kontrakten må spesifisere hvor mye varmetilførselen kan reduseres, hvem som er ansvarlig for tilstrekkelig inn klima og hvordan kunden blir kompensert for tiltaket.





## 3 Materiale og metode

### 3.1 Forsøksbetingelser

#### 3.1.1 Fasiliteter

Forsøkene ble gjennomført i to kontorbygg på Skøyen i Oslo. Disse byggene huser Hafslund ASA, heretter kalt bygg 1, og Norsk Energi AS, heretter kalt bygg 2. Byggene er koblet til fjernvarmenettet i Oslo, som driftes av Hafslund Varme.

#### 3.1.2 Beskrivelse av bygg 1

Bygg 1 ble oppført i 1992 og har et totalt bruksareal på 9882 m<sup>2</sup> fordelt på fem etasjer. Bygget har en lett stål- og betongkonstruksjon med mursteinsfasade. Bruksarealet er innvendig isolert, og har derfor ikke termisk kontakt med fasadesteinen. Bygget har radiatoroppvarming. Radiatorene er styrt via veggmonterte termostater som styrer et gitt antall radiatorskiver hver. Bygget har ventilasjonsanlegg som er i drift på hverdager. Bygget har separat varmeveksler og styring på ventilasjons- og radiatorkrets. Radiatorkretsen styres med dag og nattmodus, hvor dagmodus er aktivert mellom kl. 06.00 og 22.00. Ved nattmodus reduseres radiatorkretsens turtemperatur. Kundesentralen i bygget fordeler varme til tappevann, radiatorskiver, gatevarme og ventilasjon. Gatevarmeanlegget forsynes med varme via en varmeveksler som er koblet på radiatorkretsen. Dette anlegget styres av en kontrollenhet som får signal fra to følere som detekterer fuktighet (regn eller snø) og lufttemperatur. Kundesentralen har én energimåler som måler forbruket for hele bygget. Det er ingen måling av belastningen fra de enkelte forbruksområdene.

#### 3.1.3 Beskrivelse av bygg 2

Bygg 2 ble oppført i 1983 og har et totalt bruksareal på 2148 m<sup>2</sup> fordelt på fire etasjer. Bygget har en massiv bygningskonstruksjon med gjennomgående betongvegger. Alle rom er oppvarmet med radiatorskiver med termostatiske ventiler med manuell justering på hver enkelt radiator. Bygget har ventilasjonsanlegg som er i drift på hverdager. Bygget har felles varmeveksler som forsyner byggets krets for tappevann, radiatorskiver og ventilasjon.

Kretsen styres med dag- og nattmodus, hvor dagmodus er aktivert mellom kl. 06.00 og 20.00. Bygg 2 har ikke gatevarmeanlegg. Det er én energimåler i kundesentralen som måler hele byggets forbruk, uten mulighet for å måle belastning fra de enkelte forbruksområdene.

### 3.2 Gjennomføring av forsøk

Før forsøkene med redusert varmetilførsel ble gjennomført, ble det målt variasjon i innetemperatur i fem arbeidsdager. Dette ble gjort for å vise hvordan innetemperaturen varierer i løpet av en normal arbeidsuke.

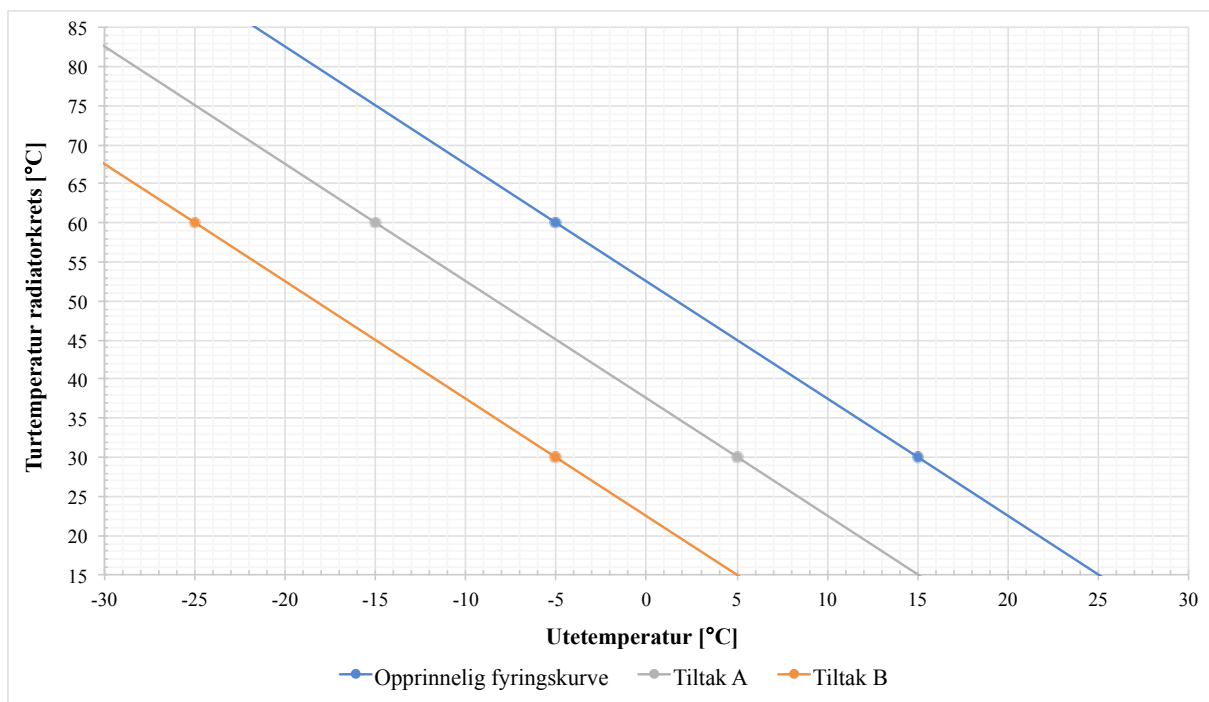
Videre ble det undersøkt hvordan innetemperaturen endret seg som følge av redusert varmetilførsel til radiatorene i bygg 1 og 2. For å redusere varmetilførselen til bygget ble fyringskurven forskjøvet slik at regulatoren styrte som om utetemperaturen var høyere enn den reelle utetemperaturen. Fyringskurven ble forskjøvet slik at utetemperaturen ble oppjustert med +10 °C, heretter kalt tiltak A, og med +20 °C, heretter kalt tiltak B. Ved denne oppjusteringen av utetemperatur, satte regulatoren turtemperaturen lavere enn den skulle vært ved den reelle utetemperatur. På den måten ble varmetilførselen til bygget mindre enn det som var normalt ved reell utetemperatur.

For å fjerne påvirkning fra ventilasjon og intern varmetilførsel i byggene, ble forsøkene utført i helger. Hver forsøksserie ble utført i tidsrommet mellom kl. 09.00 og 19.30 lørdag og søndag. Ventilasjonen ble avskrudd senest kl. 20.00 i ukedagene. Det betyr at byggene fikk minimum 13 timer på å stabilisere seg før forsøkene. Varigheten på forsøkene var minimum seks timer.

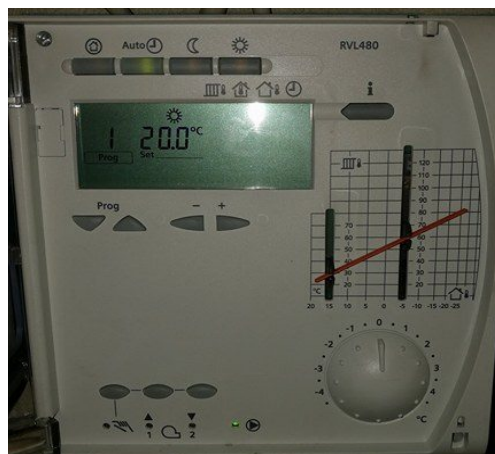
Til vanlig varierer det mellom dag- og nattmodus i begge byggene. Dette ble slått av i hele forsøksperioden. Byggene stod i dagmodus hele døgnet både ved testing av normalvariasjon og under forsøk. Det betyr at regulatoren styrte med lik innstilling hele døgnet, slik at idealtemperaturen inne var konstant. Innetemperaturen ble logget ved å plassere temperaturloggere i byggene. Bygg 1 hadde seks loggere plassert i tre ulike kontorområder. Bygg 2 hadde fire loggere plassert i to ulike kontorområder. Alle forsøkene ble gjennomført i løpet av februar og mars 2017.

### 3.2.1 Forskyvning av fyringskurve

I bygg 1 var fyringskurven til radiatorkretsen lineær. Med tiltak A var det mulig å forskyve fyringskurven i regulatoren slik at den gjaldt for alle utetemperaturer. Det betyr at fyringskurven ble parallellforskjøvet i forhold til opprinnelig fyringskurve, og den var dermed ikke sårbar mot endring i utetemperatur under forsøket. Med tiltak B var det ikke fysisk mulig å forskyve fyringskurven. Dette betyr at det ble gjort en forskyvning som kun gjaldt for et intervall på  $\pm 2,5$  °C endring i forhold til utetemperaturen ved forsøksstart (Figur 3.1). I bygg 1 var det en regulator av typen Siemens RVL 480 (Figur 3.2).

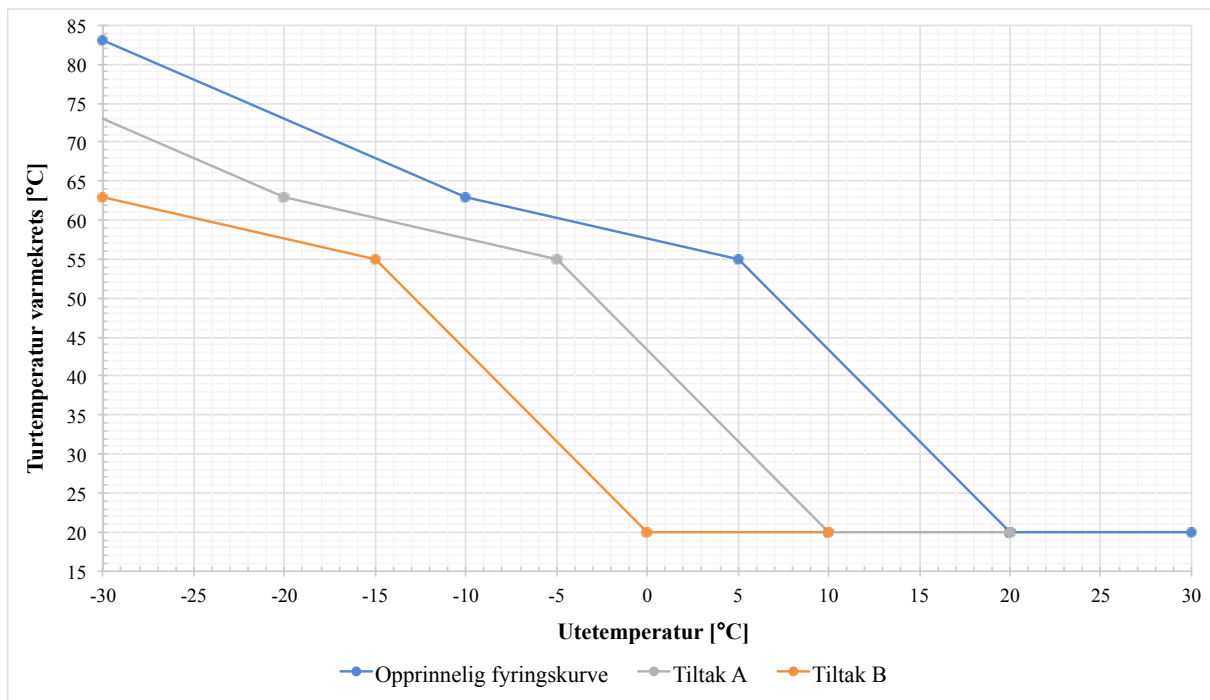


Figur 3.1: Forskyvning av fyringskurve for bygg 1.



Figur 3.2: Regulator i bygg 1, av typen Siemens RVL 480. Den røde pinnen representerer fyringskurven til bygget. Denne ble flyttet manuelt ved forskyvning. (Foto privat)

I bygg 2 var ikke fyringskurven lineær. I denne regulatoren var det ikke mulig å forskyve hele fyringskurven. Det var kun mulig å legge inn et fast avvik i turtemperatur fra den opprinnelige fyringskurven. Dette avviket ble beregnet ved å finne differansen mellom opprinnelig fyringskurve og tiltakets kurve ved reell utetemperatur ved forsøksstart (Figur 3.3). Avviket gjaldt bare for reell utetemperatur ved forsøksstart. I bygg 2 var det en regulator av typen TAC 2112 (Figur 3.4).



Figur 3.3: Grunnlag for beregning av avvik i turtemperatur for bygg 2.



Figur 3.4: Regulatoren i bygg 2, av typen TAC 2112. Fyringskurven til bygget ble forskjøvet ved å endre turtemperatur. (Foto privat)

### 3.3 Registrering og databehandling

#### 3.3.1 Kalibrering av temperaturloggere

Det ble brukt temperaturloggere av typen Tinytag View 2 med termistorprober.

Temperaturloggerne ble kalibrert ved hjelp av ettpunktskalibrering. Som referansetermometer ble det benyttet Testoterm Testo 781 med tilhørende kvarts temperaturføler. Instrumentet har ikke gyldig kalibreringsbevis, fordi revisjonsplikten ikke er overholdt. Det er likevel ikke grunnlag for å anta at instrumentet er foreldet eller skadet. Basert på sammenligning gjort ved NMBU med et moderne referanseinstrument, FLUKE 1523, antas det at Testo 781 har en nøyaktighet på 1/100 K (Ringstad 2017). Det legges til grunn at dette er tilstrekkelig for å gjennomføre en kalibrering av temperaturloggere med nøyaktighet på 1/10 K. Kalibreringen ble utført ved å plassere føleren til referanseinstrumentet og temperaturloggerne i en lukket isoporboks. Slik stod oppsettet over natten for å stabilisere seg. Før målingene ble avsluttet, ble det kontrollert at hver temperaturlogger avleste stabil temperatur. Krav for stabilitet ble satt til maksimum drift på 1/10 K per minutt (Ringstad 2017). Deretter ble alle temperaturloggere og referansetermometeret avlest (Tabell 3-1). Offsetverdiene ble beregnet ved å finne differansen mellom verdien fra referansetermometeret og verdien fra hver temperaturlogger. Det ble rundet av til nærmeste hele 1/10 K.

Tabell 3-1: Sammenligning av temperaturloggere mot referansetermometer og beregning av offset.

	<b>Temperaturlogger</b> [°C]	<b>Referansetermometer</b> [°C]	<b>Offset [°C]</b>
Temperaturlogger 1	22,56	22,64	-0,1
Temperaturlogger 2	22,60	22,64	0,0
Temperaturlogger 3	22,57	22,64	-0,1
Temperaturlogger 4	22,54	22,64	-0,1
Temperaturlogger 5	22,53	22,64	-0,1
Temperaturlogger 6	22,50	22,64	-0,1
Temperaturlogger 7	22,53	22,64	-0,1
Temperaturlogger 8	22,51	22,64	-0,1
Temperaturlogger 9	22,55	22,64	-0,1
Temperaturlogger 10	22,61	22,64	0,0

### 3.3.2 Plassering av temperaturloggere

Temperaturloggerne ble plassert ca. 1,5 meter over bakken. Alle temperaturloggere ble plassert ut minimum 12 timer før forsøket startet, for å sikre at loggerne var stabilisert og ikke påvirket av forflytning eller befølning. Temperaturloggerne ble i størst mulig grad plassert i midten av rommet og ble skjermet for direkte sollys. Dermed var de langt unna varmekilder, yttervegger og vinduer.

I bygg 1 ble det plassert to temperaturloggere i henholdsvis 1. etasje vestfløy, 1. etasje østfløy og 2. etasje vestfløy. I bygg 2 ble det plassert to temperaturloggere i 2. etasje og to i 3. etasje.

### 3.3.3 Registrering av innetemperatur

Temperaturloggerne logget med intervall på ett minutt og lagret alle målinger internt med tilhørende klokkeslett. Det var mulig å hente ut data uten å avbryte logging. Det gjorde det mulig å logge alle forsøksseriene uavbrutt. Rådataene ble eksportert til Microsoft Excel 2016, hvor de ble behandlet og analysert.

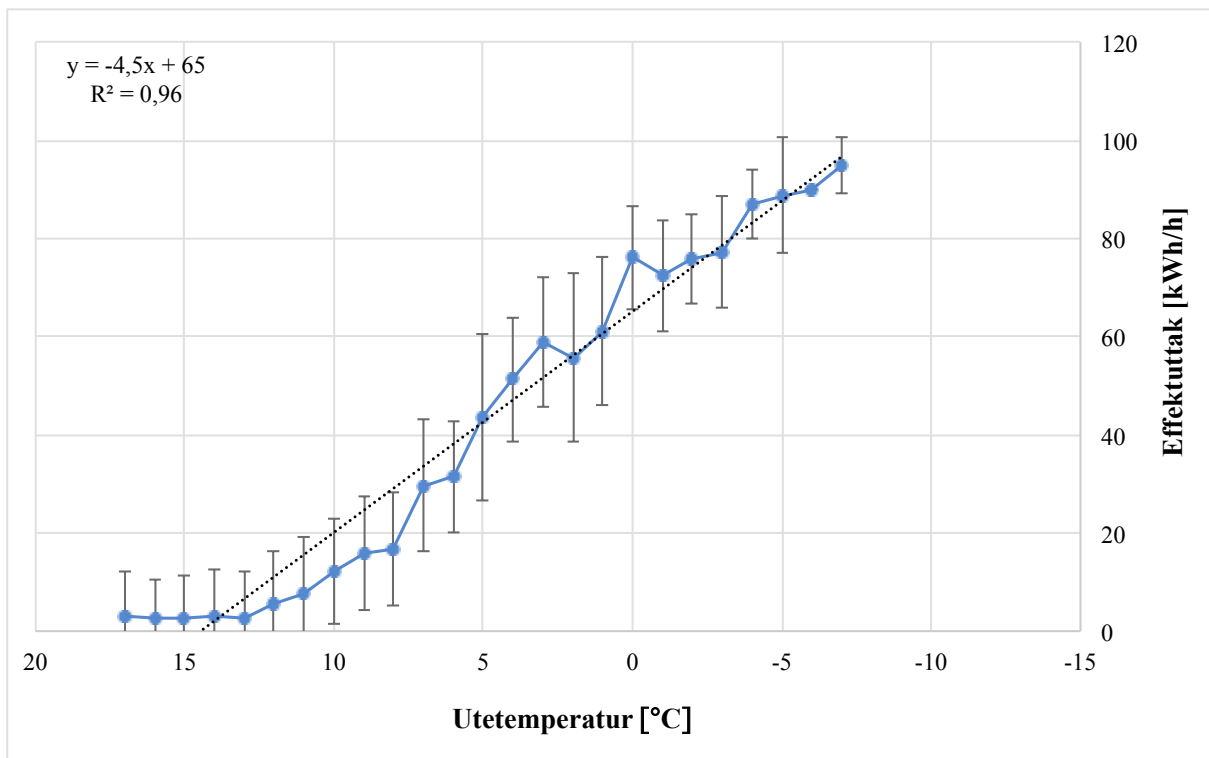
### 3.3.4 Innhenting av data for effektuttak og utetemperatur

Utetemperaturen for hele testperioden ble hentet fra Generis, som er Hafslund Varme sin database. Generis henter meteorologiske data fra værstasjonen på Blindern i Oslo.

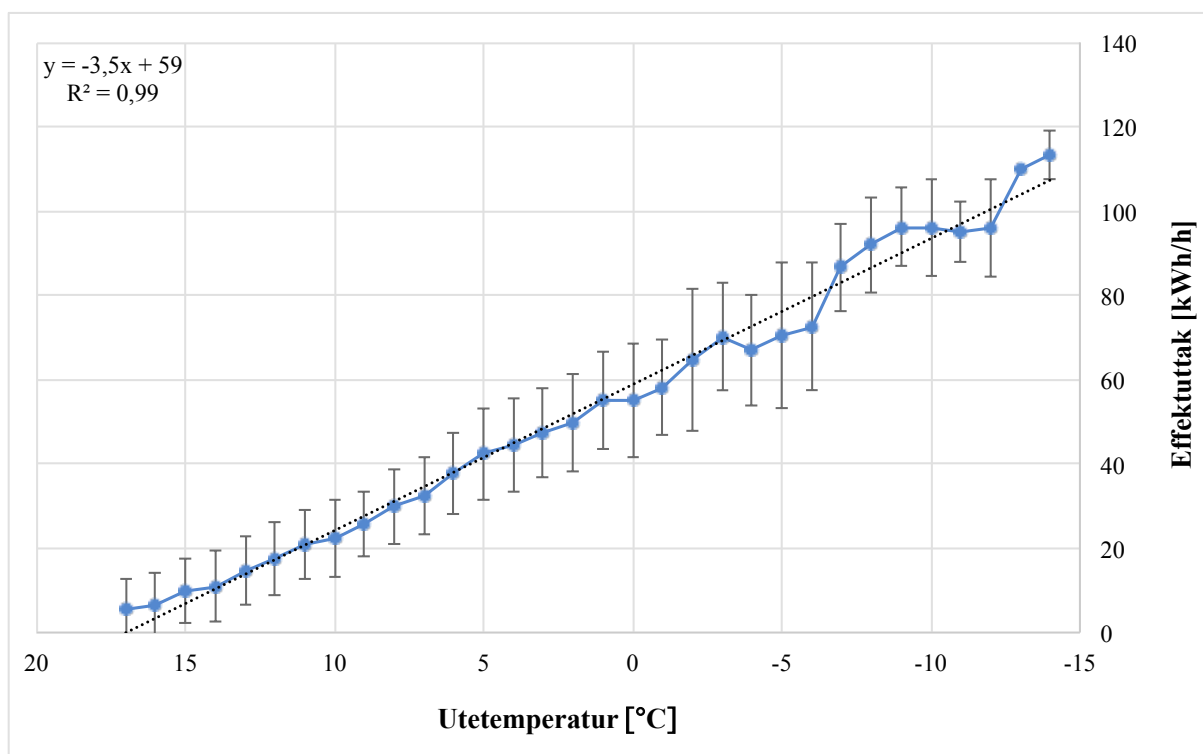
Byggenes effektuttak ble også hentet fra Generis. I databasen er effekt beregnet som energimengde dividert med én time, altså kWh/h. Effekten beregnes kun for hele 10 kW. Når et bygg har et effektuttak på 20 kW, betyr det at bygget har brukt i gjennomsnitt 20 kWh i den aktuelle timen. Denne avlesningen inneholder det samlede effektuttaket for alle forbruksområder tilknyttet byggets kundesentral. Det ble hentet data fra denne databasen både for forsøksperioden og for normal drift.

### 3.4 Beregning av reduksjon i effektuttak ved forsøk

Beregning av reduksjon i byggets effektuttak ved forsøk krevde informasjon om målt effektuttak under forsøket og normalt effektuttak ved den aktuelle utetemperaturen. Normalt effektuttak avhenger av utetemperaturen. For å lage en prognose på normalt effektuttak i helg ble det samlet inn data fra alle helger i 2015 og 2016. Det ble valgt å fjerne timer med nattmodus, samt første og siste time av dagmodus, for å unngå variasjon i effektuttak som oppstår mellom natt- og dagmodus. Dermed ble det hentet data fra bygg 1 mellom kl. 07.00 og 21.00 og for bygg 2 mellom kl. 07.00 og 19.00. For bygg 1 ble det filtrert ut enkelte helgedager hvor ventilasjonsanlegg og gatevarmeanlegg antas å ha vært aktivt. Datasettet ble representert med middelverdi og standardavvik (Figur 3.5 og Figur 3.6).



Figur 3.5: Effektuttak for bygg 1 ved ulike utetemperaturer. Presentert som middelverdi med  $\pm$  ett standardavvik, og ved lineær regresjon av middelverdi.

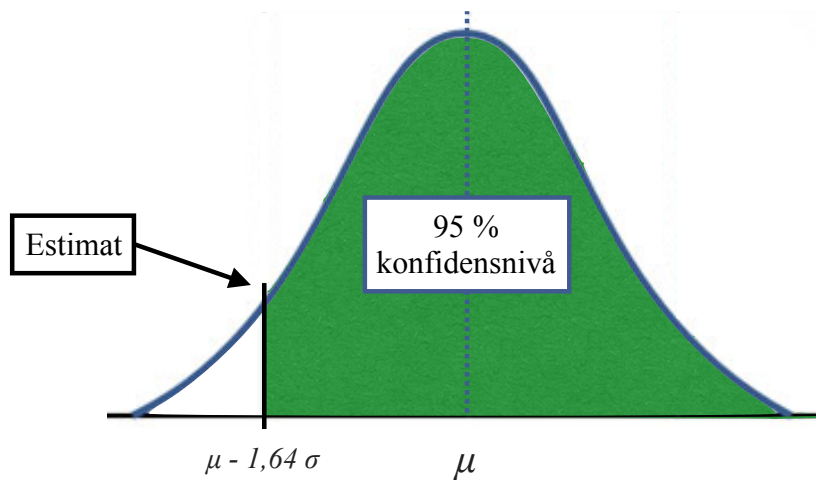


Figur 3.6: Effektuttak for bygg 2 ved ulike utetemperaturer. Presentert som middelerdi med  $\pm$  ett standardavvik, og ved lineær regresjon av middelerdi.



Utetemperatur beskriver ikke alene byggets oppvarmingsbehov. Dette avgjøres også av værforhold og intern varmetilførsel. Derfor varierer byggenes normale effektuttak mye, også ved samme utetemperatur. Det er derfor valgt å beskrive utfallet med 95 % konfidensnivå. Det ble beregnet en gjennomsnittlig nedre grense for normalt effektuttak, heretter kalt estimert effektuttak.

For å oppnå 95 % konfidensnivå måtte estimert effektuttak være lik middelerdi  $- 1,64$  standardavvik (Figur 3.7).



Figur 3.7: Estimert effektuttak er middelerdi  $- 1,64$  standardavvik. Da er normalt effektuttak, med 95 % konfidensnivå, større eller lik estimatet.

Reduksjonen i effektuttak ble beregnet som gjennomsnittlig verdi for seks timer med forsøk, og angitt som differansen mellom estimert effektuttak og målt effektuttak.

Estimert effektuttak er, med 95 % konfidensnivå, det laveste effektuttaket ved den aktuelle utetemperaturen. Dette betyr at beregningen, med 95 % konfidensnivå, angir laveste reduksjon i effektuttak.

### 3.5 Beregning av varmekapasitet

For å beskrive varmeoverføringen fra bygget til romluften, er det nødvendig å vite byggets reelle effektuttak under forsøk, endring i innetemperatur under forsøk og byggets normale effektuttak ved aktuell utetemperatur. Estimert effektuttak blir her ansett å være like stort som byggets varmetap. Det antas steady state og følgelig stabil innetemperatur, og da vil byggets tilførte varme være lik byggets varmetap til omgivelsene. Da kan  $P_{varmetap}$  settes lik estimert effektuttak. For gjennomsnittsberegninger er det antatt at betingelsen om stasjonære forhold er tilstrekkelig.

Først beregnes det hvor mye effekt som kan overføres fra bygget til romluften gitt en temperaturdifferanse.  $P_{avgitt}$  [kW] beskriver hvor raskt varme overføres fra bygningsmassen til romluften i Formel 8:

$$P_{avgitt} = P_{varmetap} - P_{effektuttak} - P_{luft} \quad (8)$$

der  $P_{varmetap}$  [kW] er lik estimert effektuttak ved aktuell utetemperatur,  $P_{effektuttak}$  [kW] er reelt effektuttak under forsøk og  $P_{luft}$  [kW] er redusert effektuttak som følge av fall i innetemperatur.

$P_{luft}$  beregnes i Formel 9:

$$P_{luft} = \frac{C_{pl} \cdot \rho_l \cdot V_l \cdot \Delta T_{inne}}{t} \quad (9)$$

der  $C_{pl} = 1,005$  kJ/ kg K [kJ/kg K] er luftens varmekapasitet,  $\rho_l = 1,168$  kg/m<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>] er luftens massetetthet,  $V_l$  [m<sup>3</sup>] er totalt luftvolum,  $\Delta T_{inne}$  [°C] er endring i innetemperatur og  $t$  [h] er varigheten på forsøket.

Energimengden som overføres fra bygget til romluften,  $E_{avgitt}$  [kWh], ved  $P_{avgitt}$  [kW] effekt over  $t$  [h] timer er gitt i Formel 10:

$$E_{avgitt} = P_{avgitt} \cdot t \quad (10)$$

Energimengden som avgis for hver grad innetemperaturen synker beregnes i formel 11, hvor  $C_{bygg}$  [kWh/°C] er byggets varmekapasitet,  $E_{avgitt}$  er overført energi fra bygget til romluften, og  $\Delta T_{inne}$  er endringen i innetemperatur:

$$C_{bygg} = \frac{E_{avgitt}}{\Delta T_{inne}} \quad (11)$$

Byggets varmekapasitet,  $C_{bygg}$ , beskriver hvor mye energi det er mulig å hente fra konstruksjonen, gitt en temperaturdifferanse. Eksempelvis vil et bygg med en varmekapasitet på 100 kWh/°C, kunne avgi 100 kWh til romluften hvis temperaturdifferansen mellom byggets interne elementer og romluften er 1°C. Det er en begrensning på hvor raskt denne varmeoverføringen kan skje, som beskrives ved gjennomsnittlig effektoverføring fra byggets interne elementer til romluften,  $P_{bygg}$  [kWh/h], gitt i Formel 12:

$$P_{bygg} = \frac{C_{bygg}}{t} \quad (12)$$

der  $C_{bygg}$  er beregnet varmekapasitet til bygget, og  $t$  er varigheten av forsøket. Det antas konstant effektoverføring under hele forsøket.

Varmekapasiteten for byggene ble beregnet som et gjennomsnitt av varmekapasiteten beregnet for hver forsøksserie.



## 4 Resultater

### 4.1 Normalvariasjon i innetemperatur

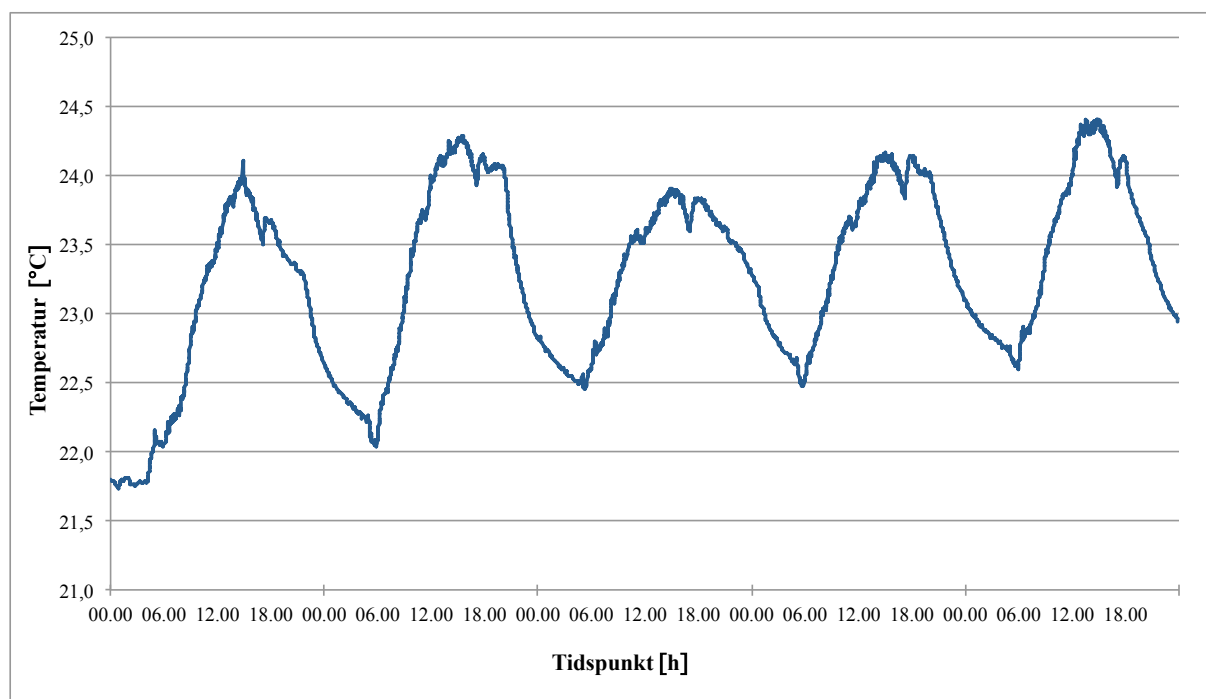
Normalvariasjon ble logget i uke 7, heretter kalt representativ vinteruke, mandag til fredag.

Innetemperaturen er angitt som gjennomsnittet av alle temperaturloggere i bygget.

Fullstendige resultater fra alle temperaturloggere finnes i Vedlegg A.

#### Bygg 1

Den høyeste gjennomsnittlige innetemperaturen i løpet av en representativ vinteruke ble målt til 24,3 °C. Den laveste gjennomsnittlige innetemperaturen ble målt til 21,8 °C (Figur 4.1).

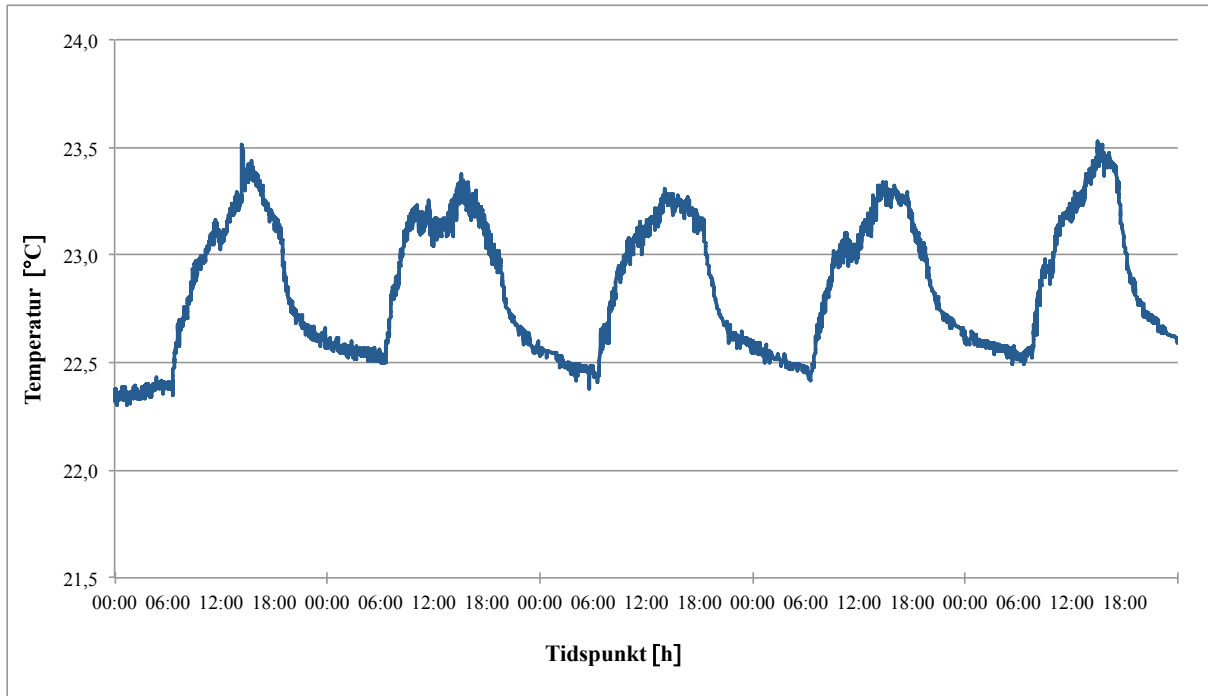


Figur 4.1: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 1 i en representativ vinteruke.

Enkelte minutter med unormalt høy stigning i innetemperatur er fjernet fordi det antas at det skyldes ytre forstyrrelser (temperaturloggeren har blitt tatt på).

## Bygg 2

Den høyeste gjennomsnittlige innnetemperaturen i løpet av en representativ vinteruke ble målt til 23,5 °C. Den laveste gjennomsnittlige innnetemperaturen ble målt til 22,3 °C (Figur 4.2).



Figur 4.2: Gjennomsnittlig innnetemperatur for bygg 2 i en representativ vinteruke.

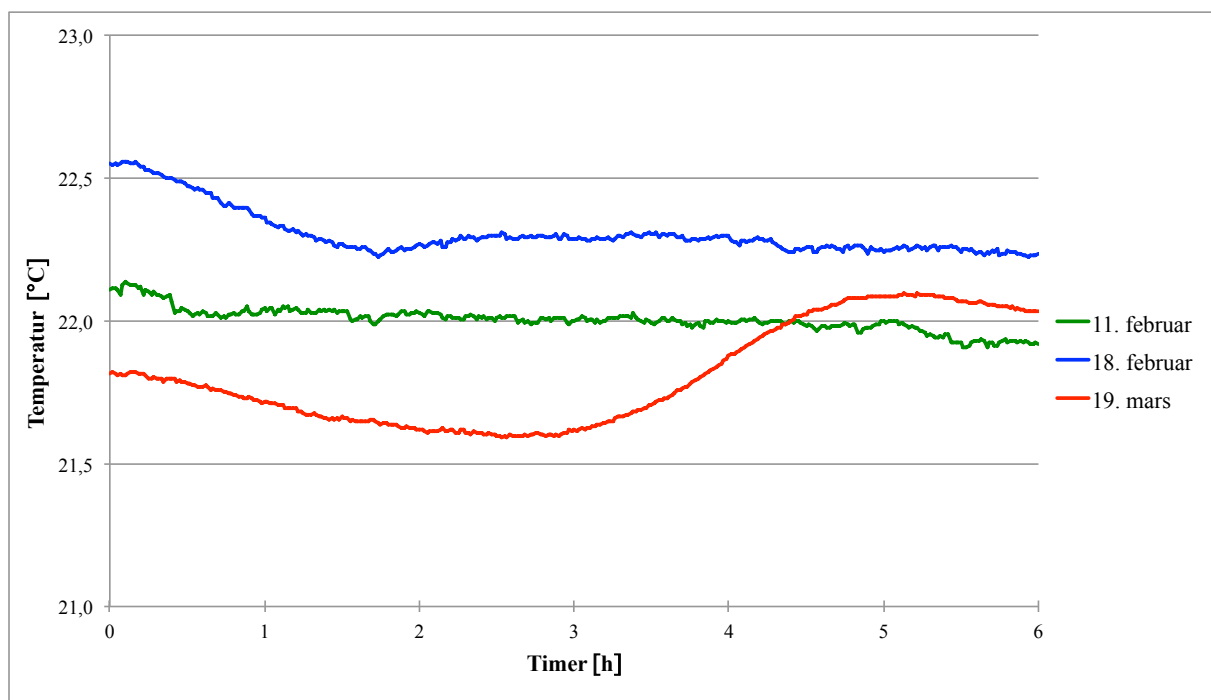
## 4.2 Endring i innetemperatur med tiltak A

Det ble gjennomført tre forsøk på hvert bygg med tiltak A. Forsøkene ble gjennomført 11. februar og 18. februar for begge bygg. Siste forsøk ble gjennomført 19. mars i bygg 1 og 26. februar i bygg 2.

Resultatene fra gjennomførte forsøk presenteres på to ulike måter. Først presenteres gjennomsnittlig innetemperatur for hver forsøksdag. Videre presenteres gjennomsnittlig temperaturforandring relativ til innetemperaturen ved forsøksstart. Fullstendige resultater fra alle temperaturloggere finnes i Vedlegg B.

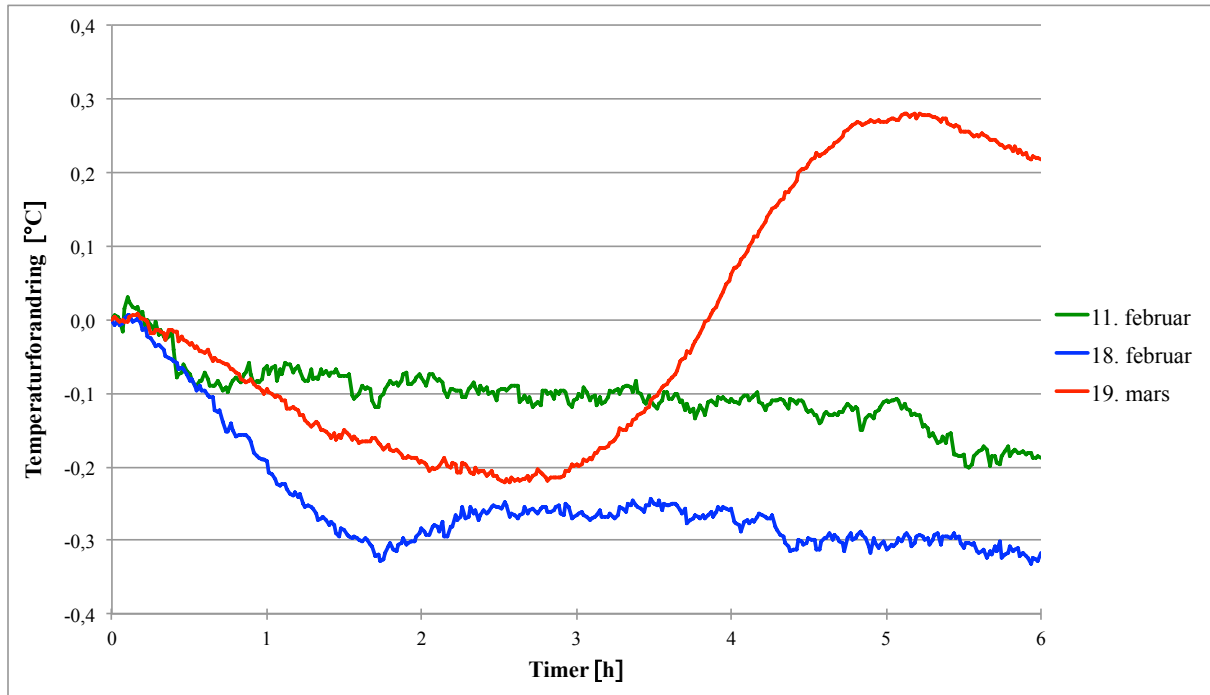
### Bygg 1

Høyeste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 22,6 °C. Dette ble målt 18. februar. Laveste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 21,6 °C. Dette ble målt 19. mars (Figur 4.3).



Figur 4.3: Gjennomsnittlig innetemperatur i bygg 1 for tre forsøk med tiltak A.

Under forsøket 11. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 0,2 °C. 18. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 0,3 °C. 19. mars var gjennomsnittlig temperaturfall 0,2 °C i løpet av de tre første timene. De siste tre timene av forsøket steg innetemperaturen med 0,5 °C (Figur 4.4).

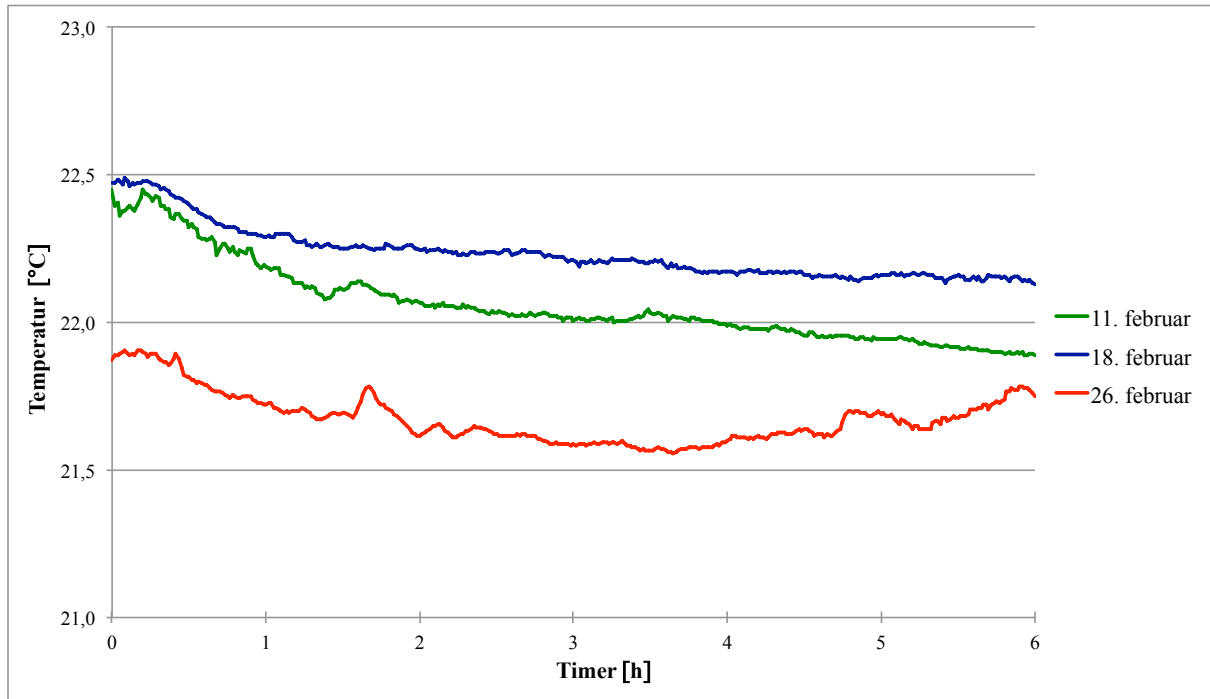


Figur 4.4: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 1 for tre forsøk med tiltak A.



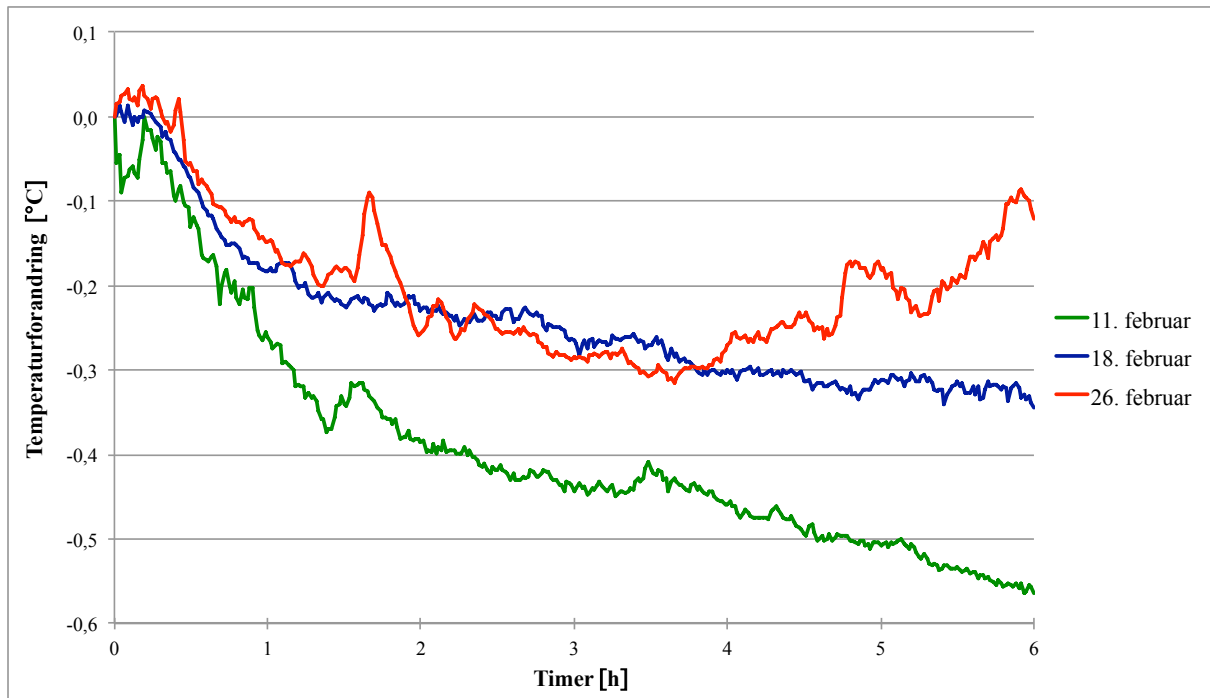
## Bygg 2

Høyeste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 22,5 °C. Dette ble målt 18. februar. Laveste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 21,6 °C. Dette ble målt 26. februar (Figur 4.5).



Figur 4.5: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak A.

Under forsøket 11. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 0,6 °C. 18. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 0,3 °C. 19. mars var gjennomsnittlig temperaturfall 0,3 °C, før temperaturen steg med 0,2 °C de siste to timene (Figur 4.6).



Figur 4.6: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak A.

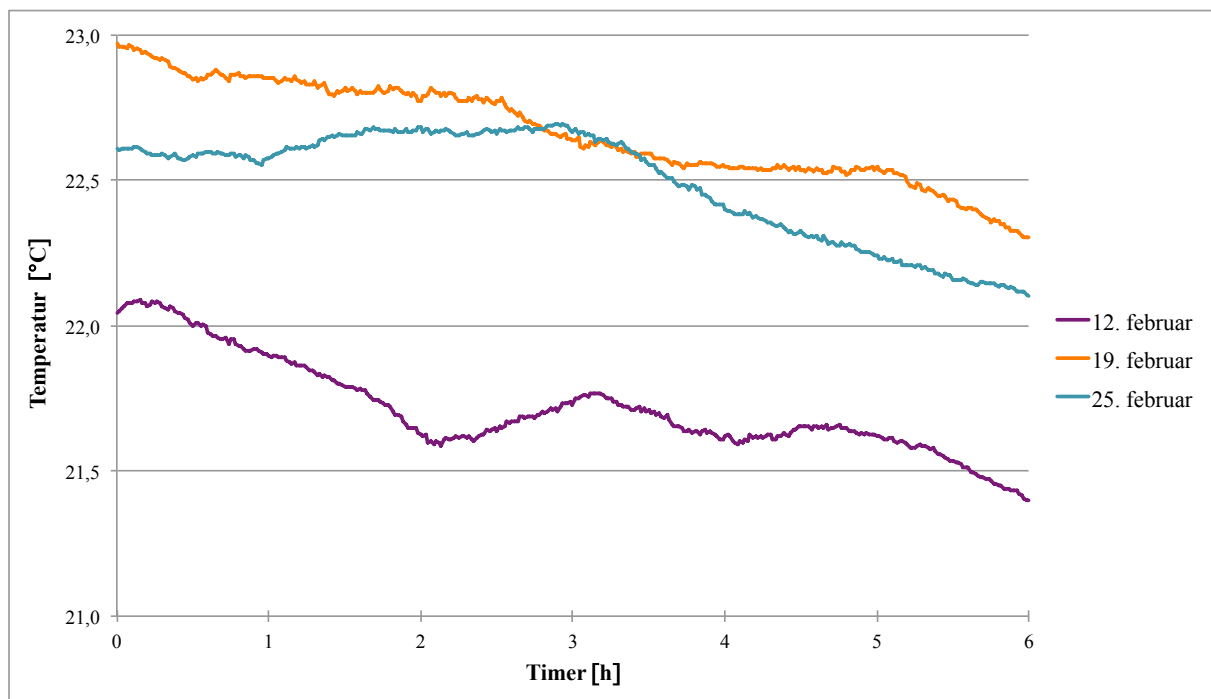
### 4.3 Endring i innetemperatur med tiltak B

Det ble gjennomført tre forsøk med tiltak B. Forsøkene ble gjennomført 12., 18. og 25. februar.

Resultatene presenteres på samme måte som for tiltak A. Fullstendige resultater fra alle temperaturloggere finnes i Vedlegg C.

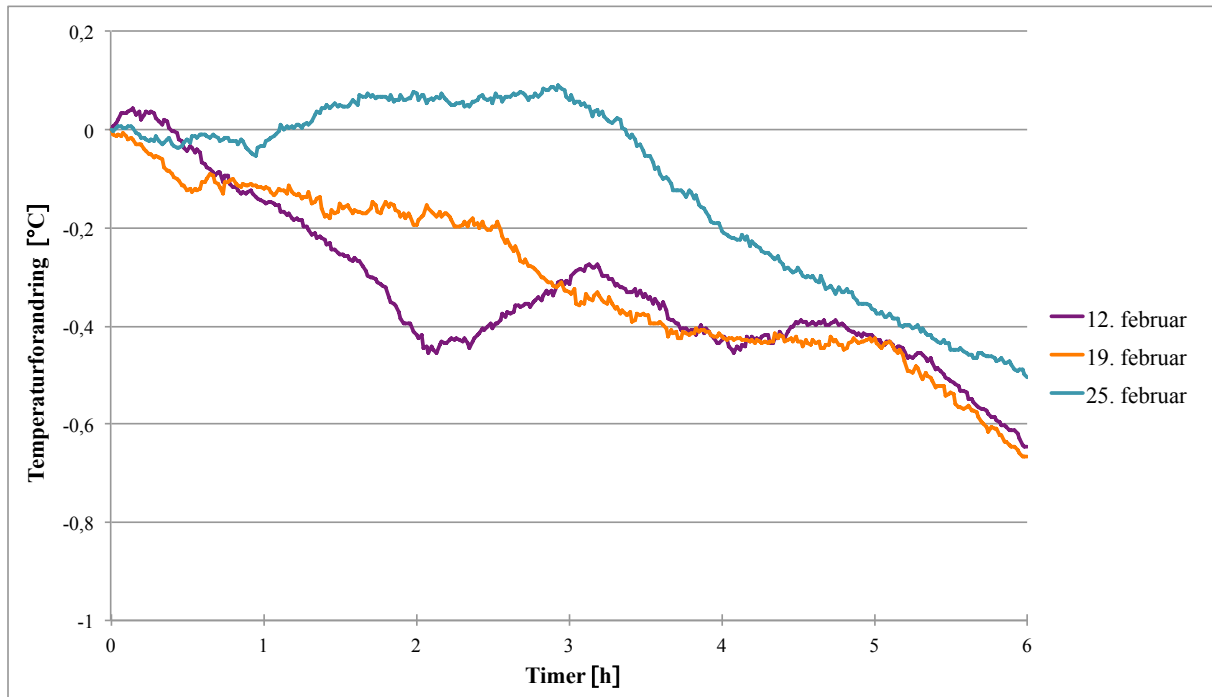
#### Bygg 1

Høyeste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 23,0 °C. Dette ble målt 19. februar. Laveste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 21,4 °C. Dette ble målt 12. februar (Figur 4.7).



Figur 4.7: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 1 for tre forsøk med tiltak B.

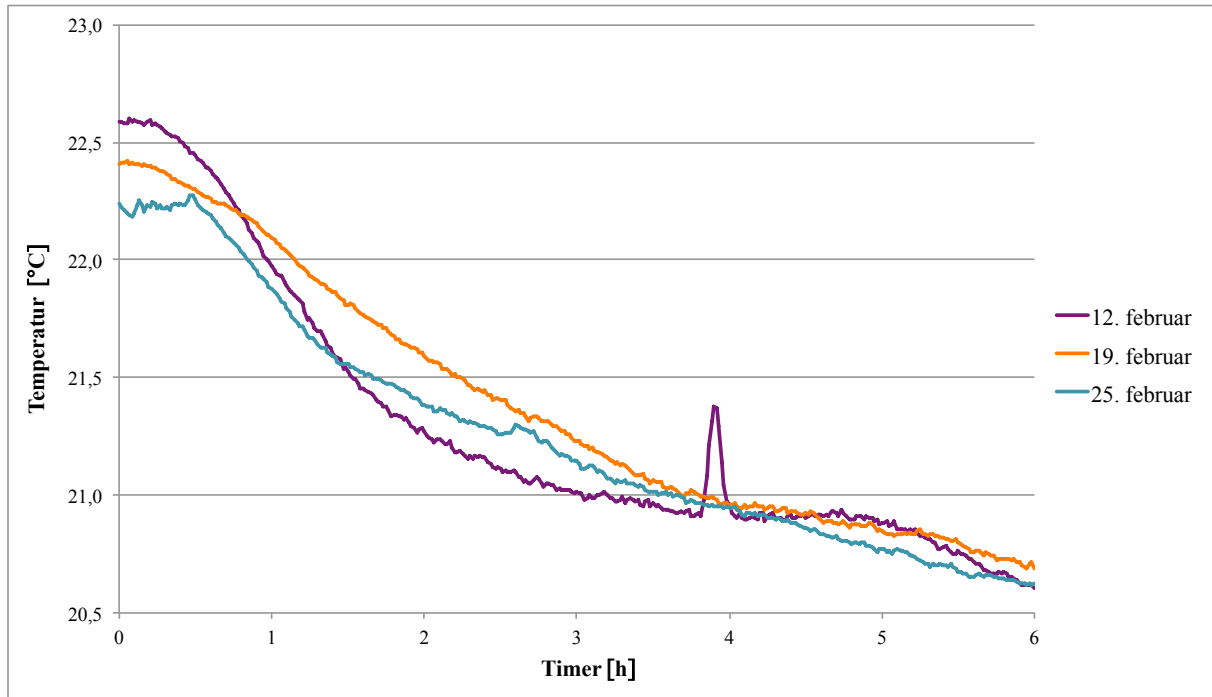
Under forsøket 12. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 0,7 °C. 19. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 0,7 °C. 25. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 0,5 °C (Figur 4.8).



Figur 4.8: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 1 for tre forsøk med tiltak B.

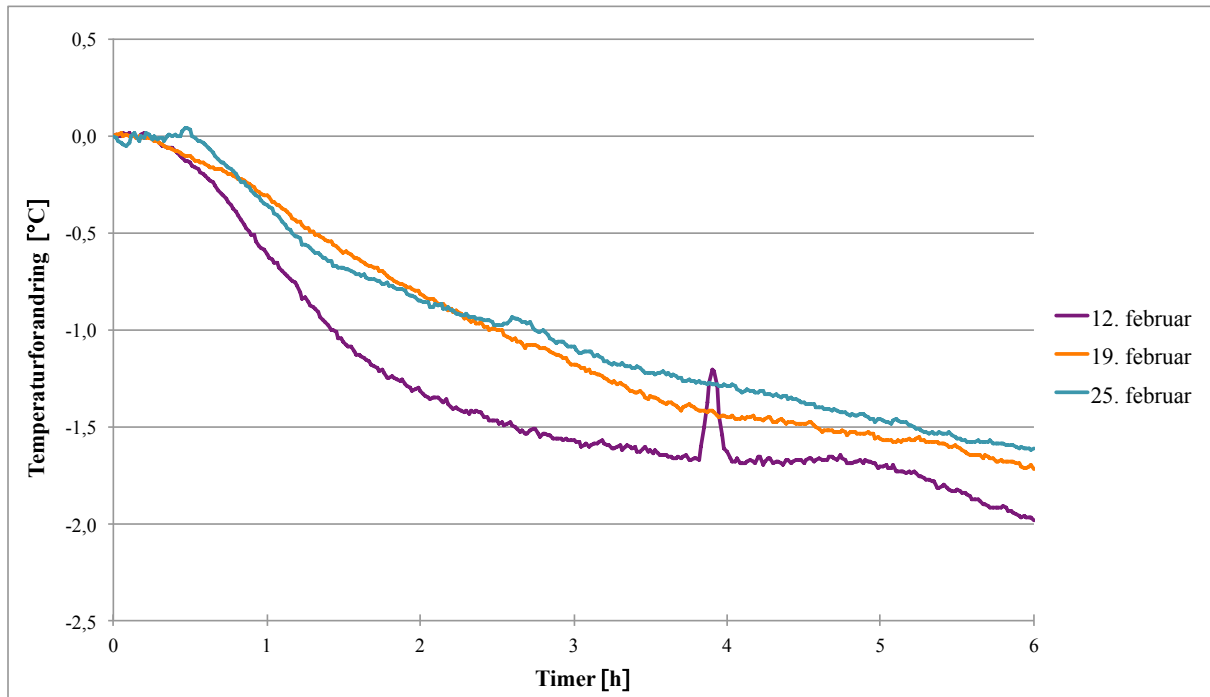
## Bygg 2

Høyeste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 22,6 °C. Dette ble målt 12. februar. Laveste gjennomsnittlige innetemperatur for tre forsøk var 20,6 °C. Dette ble målt 12. og 25. februar (Figur 4.9).



Figur 4.9: Gjennomsnittlig innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak B.

Under forsøket 12. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 2,0 °C. 19. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 1,7 °C. 25. februar var gjennomsnittlig temperaturfall 1,6 °C (Figur 4.10).



Figur 4.10: Gjennomsnittlig endring i innetemperatur for bygg 2 for tre forsøk med tiltak B.

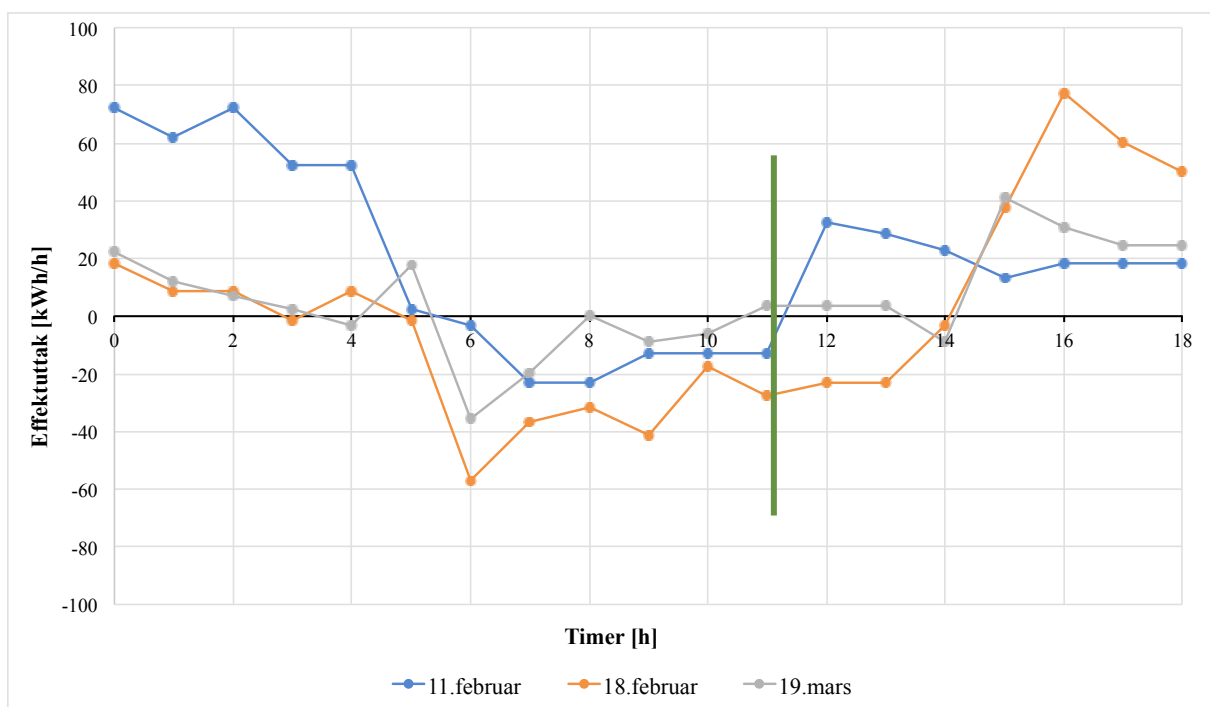
#### 4.4 Endring i effektuttak med tiltak A og B

Alle figurer nedenfor viser effektuttaket den aktuelle forsøksdagen. Målt effektuttak på forsøksdagen er gitt relativt til estimert effektuttak. Estimert effektuttak er en beregnet verdi som beskriver byggets effektuttak med 95 % konfidensnivå. Det betyr at estimert effektuttak er et konservativt anslag. Dermed er det ikke forventet at byggets effektuttak før forsøket skal ha lik verdi som estimert effektuttak.

Forsøkene startet i time 6. Videre er det kun de første seks timene av tiltakene som inngår i beregning av reduksjon i effektuttak. Dette er markert med grønn vertikal strek i alle figurer.

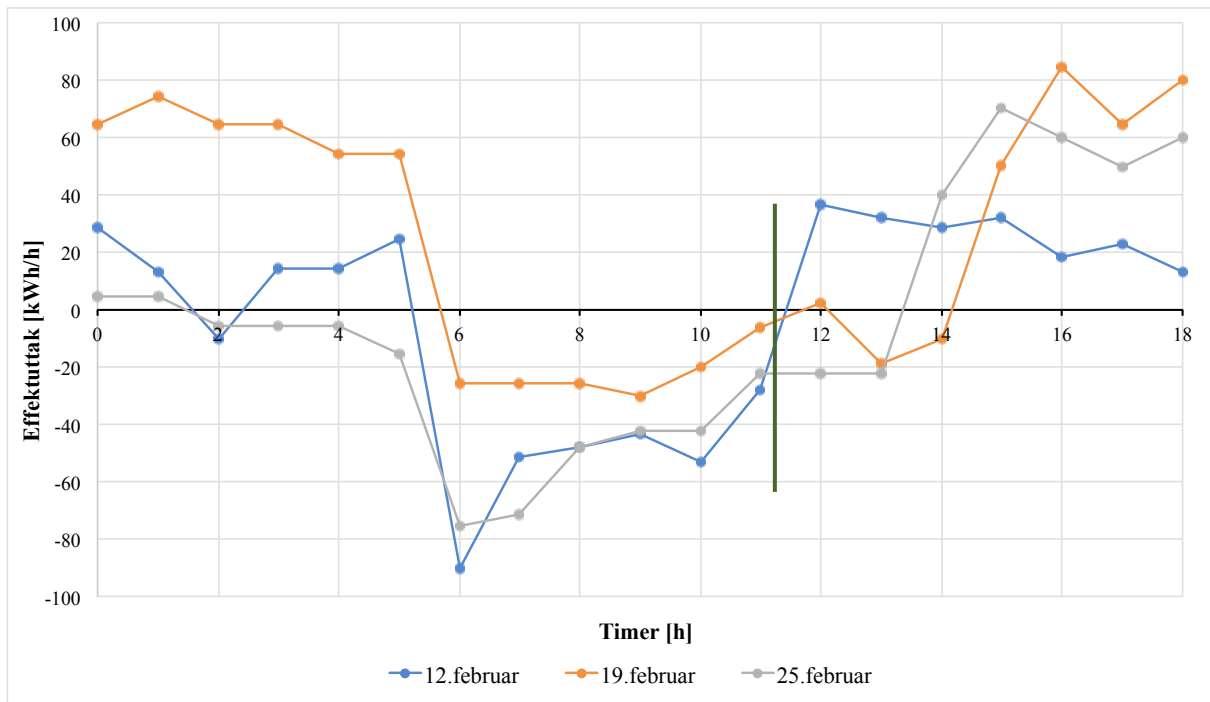
##### Bygg 1

Reduksjon i effektuttak med tiltak A var maksimalt 60 kWh/h. Høyeste effektuttak etter tiltaket var 80 kWh/h over estimert effektuttak. Dette ble målt 18. februar (Figur 4.11).



Figur 4.11: Bygg 1 med tiltak A. Differanse mellom estimert effektuttak og målt effektuttak under forsøk, med 95 % konfidensnivå. Varighet tiltak: 11. februar time 6-11,5, 18. februar time 6-15, 19. mars time 6-14. Reduksjon i effektuttak beregnes bare fra de første seks timene av forsøket, markert med grønn vertikal strek.

Reduksjon i effektuttak med tiltak B var maksimalt 90 kWh/h. Dette ble målt 12. februar. Høyeste effektuttak etter tiltaket var 80 kWh/h over estimert effektuttak. Dette ble målt 19. februar (Figur 4.12).



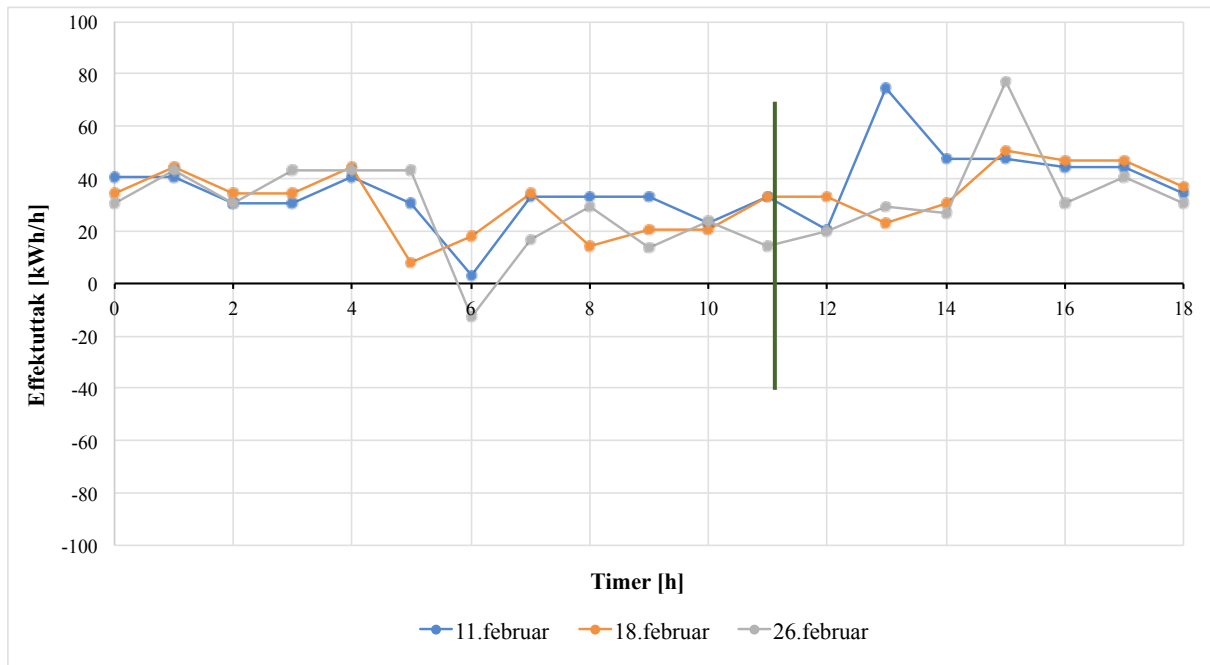
Figur 4.12: Bygg 1 med tiltak B. Differanse mellom estimert effektuttak og målt effektuttak under forsøk, med 95 % konfidensnivå. Varighet tiltak: 12. februar time 6-11,5, 19. februar time 6-14,5, 25. februar time 6-13,5. Reduksjon i effektuttak beregnes bare fra de første seks timene av forsøket, markert med grønn vertikal strek.



## Bygg 2

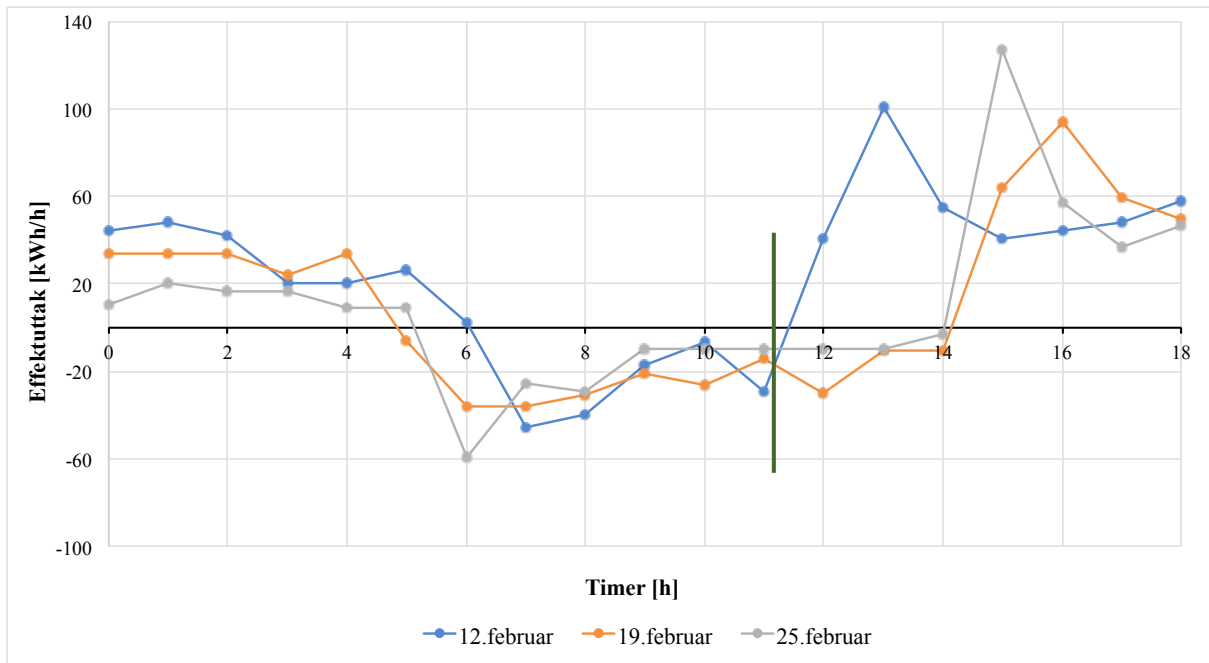
Reduksjon i effektuttak med tiltak A var maksimalt 10 kWh/h. Dette ble målt 26. februar.

Høyeste effektuttak etter tiltaket var 80 kWh/h over estimert effektuttak. Dette ble målt 11. og 26. februar (Figur 4.13).



Figur 4.13: Bygg 2 med tiltak A. Differanse mellom estimert effektuttak og målt effektuttak under forsøk, med 95 % konfidensnivå. Varighet tiltak: 11. februar time 6-12, 18. februar time 6-14, 26. februar time 6-14. Reduksjon i effektuttak beregnes bare fra de første seks timene av forsøket, markert med grønn vertikal strek.

Reduksjon i effektuttak med tiltak B var maksimalt 60 kWh/h. Høyeste effektuttak etter tiltaket var 130 kWh/h over estimert effektuttak. Dette ble målt 25. februar (Figur 4.14).



Figur 4.14: Bygg 2 med tiltak B. Differanse mellom estimert effektuttak og målt effektuttak under forsøk, med 95 % konfidensnivå. Varighet tiltak: 12. februar time 6-10, 19. februar time 6-14,5, 25. februar time 6-14. Reduksjon i effektuttak beregnes bare fra de første seks timene av forsøket, markert med grønn vertikal strek.

## 4.5 Samling av resultatene fra tiltak A og B

Videre presenteres en samling av alle forsøk i bygg 1 og 2. Reduksjon i effektuttak ( $\bar{P}_{\text{reduksjon}}$ ) er oppgitt som gjennomsnittlig reduksjon for tre forsøk over seks timer med 95 % konfidensnivå.

I bygg 1 var gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak med tiltak A 20 kW ved utetemperatur mellom -4,5 °C og +4,0 °C. Gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak med tiltak B var 42 kW ved utetemperatur mellom -6,5 °C og +4,0 °C. Bygg 1 hadde gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak per bruksareal på 2,1 W/m<sup>2</sup> med tiltak A og 4,2 W/m<sup>2</sup> med tiltak B (Tabell 4-1).

Forsøk med tiltak A i bygg 2 ga ikke reduksjon i effektuttak. Gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak med tiltak B var 25 kW ved utetemperatur mellom -6,5 °C og +4,7 °C. Bygg 2 reduserte effektuttaket med gjennomsnittlig 12 W/m<sup>2</sup> med tiltak B (Tabell 4-2).

Tabell 4-1: Gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak ( $\bar{P}_{\text{reduksjon}}$ ), reduksjon i effektuttak som prosent av estimert effektuttak ( $\bar{P}_{\text{estimert}}$ ), endring i gjennomsnittlig innetemperatur ( $\Delta T_{\text{inne}}$ ), utetemperatur ( $T_{\text{ute}}$ ) og reduksjon i effektuttak per bruksareal ved tiltak A og B for bygg 1. Reduksjon i effektuttak er oppgitt med 95 % konfidensnivå.

Dato [dd.m]	Tiltak	$\bar{P}_{\text{reduksjon}}$ [ $\frac{\text{kWh}}{\text{h}}$ ]	$\frac{\bar{P}_{\text{reduksjon}}}{\bar{P}_{\text{estimert}}}$ [%]	$\Delta T_{\text{inne}}$ [°C]	$T_{\text{ute}}$ oppstart [°C]	$T_{\text{ute}}$ avslutning [°C]	$\frac{\bar{P}_{\text{reduksjon}}}{\text{bruksareal}}$ [Wh/hm <sup>2</sup> ]
11.2	A	15	23	-0,3	-2,2	-2,0	1,5
18.2	A	35	52	-0,2	-4,5	-2,5	3,6
19.3	A	11	43	-0,2	1,0	4,0	1,1
12.2	B	52	78	-0,7	-6,1	-2,5	5,3
19.2	B	22	73	-0,7	0,5	4,0	2,2
25.2	B	50	81	-0,5	-6,5	-0,9	5,1

Tabell 4-2: Gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak ( $\bar{P}_{\text{reduksjon}}$ ), reduksjon i effektuttak som prosent av estimert effektuttak ( $\bar{P}_{\text{estimert}}$ ), endring i gjennomsnittlig innetemperatur ( $\Delta T_{\text{inne}}$ ), utetemperatur ( $T_{\text{ute}}$ ) og reduksjon i effektuttak per bruksareal ved tiltak A og B for bygg 2. Reduksjon i effektuttak er oppgitt med 95 % konfidensnivå.

Dato [dd.m]	Tiltak	$\bar{P}_{\text{reduksjon}}$ [kWh/h]	$\frac{\bar{P}_{\text{reduksjon}}}{\bar{P}_{\text{estimert}}}$ [%]	$\Delta T_{\text{inne}}$ [°C]	$T_{\text{ute}}$ oppstart [°C]	$T_{\text{ute}}$ avslutning [°C]	$\frac{\bar{P}_{\text{reduksjon}}}{\text{bruksareal}}$ [Wh/hm <sup>2</sup> ]
11.2	A	-26	-	-0,7	-2,2	-2,0	-
18.2	A	-24	-	-0,4	-4,6	-2,1	-
26.2	A	-14	-	-0,1	-0,4	3,7	-
12.2	B	23	51	-2,0	-4,4	-2,5	11
19.2	B	27	89	-1,7	0,5	4,7	13
25.2	B	24	51	-1,6	-6,5	-0,9	11

Resultatene for reduksjon i effektuttak per bruksareal kan benyttes for å beregne hvor mange m<sup>2</sup> med bygningsareal som er nødvendig for å jevne ut effekttoppen en representativ dag. Dette beregnes med utgangspunkt i 5. januar (Figur 2.5). Den aktuelle dagen antas det at det er mulig å redusere produksjonen til 500 MWh/h. Det betyr at det er behov for å redusere produksjonen med totalt 37 MWh over de tre timene mellom kl. 9 og 12. Den timen med størst avvik fra 500 MWh/h er time 9, med en gjennomsnittlig produksjon på 518 MW. For å kunne jevne denne effekttoppen med bruk av termisk lagret energi i bygninger er det altså behov for å hente ut 18 MWh/h. Det tilsvarer 8,6 millioner m<sup>2</sup> bruksareal dersom resultatene fra tiltak 1 i bygg 1 legges til grunn. Videre tilsvarer det 4,3 millioner m<sup>2</sup> bruksareal dersom resultatene fra tiltak 2 i bygg 1 legges til grunn. Basert på bygg 2 tilsvarer det 1,6 millioner m<sup>2</sup> bruksareal dersom resultatene fra tiltak 2 legges til grunn. Antas det et gjennomsnittlig bruksareal per bygg på 10 000 m<sup>2</sup> tilsvarer dette 860 bygg med tiltak 1 i bygg 1, 430 bygg med tiltak 2 i bygg 1 eller 160 bygg med tiltak 2 i bygg 2.

#### 4.6 Beregning av varmekapasitet i byggene

Volumet av inneluft ble beregnet basert på totalt bruksareal og en gjennomsnittlig takhøyde på tre meter. Siden varmekapasiteten i bygningskroppen,  $C_{bygg}$ , er en konstant, kunne den beregnes som en gjennomsnittlig verdi basert på alle forsøksseriene fra ett bygg.

Varmekapasiteten til bygg 1 ble beregnet basert på seks forsøksserier, mens for bygg 2 ble varmekapasiteten basert på tre forsøksserier med tiltak B. Dette skyldes at bygg 2 hadde negative verdier for varmekapasitet fra de tre forsøksseriene med tiltak A (Tabell 4-3).

Tabell 4-3: Varmekapasitet ( $C_{bygg}$ ) og varmekapasitet dividert med forsøkets varighet ( $P_{bygg}$ ) for byggene.

	$C_{bygg}$ [kWh/°C]	$\frac{C_{bygg}}{areal}$ [Wh/°Cm <sup>2</sup> ]	$P_{bygg} = \frac{C_{bygg}}{varighet}$ [kWh/h°C]	$\frac{P_{bygg}}{Areal}$ [Wh/h°Cm <sup>2</sup> ]
Bygg 1	211	21	35	3,5
Bygg 2	68	32	11	5,1



## 5 Diskusjon

### 5.1 Gjennomføring av forsøk

Hafslund Varme uttrykte tidlig at effekttoppen som ofte oppstår om morgenen varte i maksimalt seks timer. Dette bekreftes av produksjonsoversikten i fjernvarmenettet, som viste ekstra stort effektuttak mellom kl. 8 og 12 en representativ vinterdag i 2016 (Figur 2.5).

Derfor ble det valgt å gjennomføre alle forsøk i minimum seks timer.

Det var ikke mulig, med unntak av for tiltak A i bygg 1, å forskyve fyringskurven i regulatoren slik at den gjaldt for alle utetemperaturer. I bygg 1 med tiltak B var det mulig å forskyve fyringskurven slik at den var gyldig for et intervall på  $\pm 2,5$  °C endring relativt til reell utetemperatur ved forsøksstart. Under forsøkene med tiltak B steg utetemperaturen med mellom 3,5 °C og 5,6 °C. Fyringskurven til bygg 2 var mer sårbar for endring i utetemperatur enn fyringskurven i bygg 1. Dette skyldtes at regulatoren krevde en annen metode for å gjennomføre ønsket tiltak. Det ble lagt inn et fast avvik i turtemperatur i forhold til reell utetemperatur ved forsøksstart. Fyringskurvens form (Figur 3.3) gjorde den spesielt følsom for endringer i utetemperatur i området fra -15 °C til +10 °C. Under forsøkene med tiltak A steg utetemperaturen med mellom 0,2 °C og 4,1 °C. Tilsvarende steg utetemperaturen under forsøkene med tiltak B med mellom 1,9 °C og 5,6 °C.

Det var problematisk at forskyvningen av fyringskurven ikke gjaldt for alle utetemperaturer, ettersom utetemperaturen steg under alle forsøkene. Det innebar at utetemperaturen ikke lenger var oppjustert med henholdsvis +10 °C og +20 °C i forhold til reell utetemperatur. Følgelig ble turtemperaturen i radiatorkretsen høyere enn den skulle vært. Dette kan ha påvirket byggets reduksjon i effektuttak. Følgelig antas det at reduksjonen i effektuttak kunne vært større dersom varmetilførselen hadde vært riktig i forhold til utetemperatur gjennom hele forsøket.

Effektuttaket fra hvert bygget ble kun beregnet som gjennomsnittlig timesverdi. Dermed hadde det vært fordelaktig å starte og avslutte alle forsøk på et helt klokkeslett. Av praktiske årsaker var ikke det mulig. For det første tok det tid å gjøre nødvendige registreringer før tiltaket ble iverksatt. For det andre var ikke byggene i umiddelbar nærhet av hverandre. Dersom forsøket ble startet midt i en time, ble gjennomsnittet for den timen avhengig av både effektuttaket før forsøksstart og effektuttaket etter forsøksstart. Dette var ikke ideelt. Så langt

det lot seg gjøre ble beregningen av reduksjon i effektuttak basert utelukkende på hele timer med tiltak. Forsøkene hadde derfor i noen tilfeller lengre varighet enn seks timer.

Det ble plassert ut seks temperaturloggere i bygg 1, og fire i bygg 2. Dette ble valgt fordi bygg 1 er større enn bygg 2, og har flere fløyer i hver etasje. I begge bygg var det temperaturloggere i to av etasjene, og det ble antatt at det var representativt for hele bygget. Temperaturloggerne målte forskjellige innetemperatur i de forskjellige etasjene i begge bygg. Dette var også tydelig ved logging av normalvariasjon. Det kan komme av innstillingen på termostaten i hver enkelt etasje/fløy. Resultatene tydet på at det hadde vært fordelaktig med temperaturloggere i alle etasjene, for å få et enda bedre bilde av bygget som helhet. Det ble kun benyttet ti temperaturloggere av økonomiske og praktiske årsaker.

I bygg 1 var gatevarmeanlegget aktivt under noen av forsøkene. Dette var ikke ideelt, siden det inngikk i effektmålingen for hele bygget. Det antas at målt effektuttak under forsøk ble større dersom gatevarmeanlegget var aktivt. Reduksjonen i byggets effektuttak ble dermed mindre enn det som var potensielt mulig.

## 5.2 Resultatene

### 5.2.1 Normalvariasjon i innetemperatur

Vanligvis gjør omstillingen mellom dag- og nattmodus at det blir en naturlig variasjon i innetemperatur mellom natt og dag. Derfor ble normalvariasjon i innetemperatur logget uten nattmodus. Det viste seg at uten denne omstillingen var det likevel store variasjoner i innetemperatur i løpet av et døgn og en arbeidsuke. Innemperaturen i begge bygg kunne være rundt 24 °C enkelte steder utover ettermiddagen. Arbeidstilsynet generelle anbefaling er at innemperaturen på arbeidsplassen bør være mellom 19 °C og 26 °C. Ved lett fysisk kontorarbeid bør innemperaturen holdes under 22 °C. Begge byggene har altså innetemperaturen som overstiger Arbeidstilsynets anbefalinger ved lett fysisk kontorarbeid. Så høye innetemperaturen kan beviselig være med på å redusere effektivitet på arbeidsplassen (Seppanen et al. 2006).

Innetemperaturen i en normal arbeidsuke kan ikke sammenlignes direkte med innemperaturen under forsøk. Dette skyldes at innemperaturen i en normal arbeidsuke blir påvirket av eksempelvis interne varmetilskudd og ventilasjon. Disse faktorene påvirket ikke



forsøkene. Likevel er det tydelig at innetemperaturen normalt er for høy utover ettermiddagen i en vanlig arbeidsuke, mens forsøkene resulterte i fall i innetemperatur. Avhengig av når på døgnet et eventuelt tiltak iverksettes, kan redusert varmetilførsel derfor være med på å redusere sjansen for uheldig høye innetemperaturer.

### 5.2.2 Endring i innetemperatur under tiltak

For bygg 1 var gjennomsnittlig innetemperatur aldri lavere enn 21,6 °C med tiltak A. Gjennomsnittlig fall i innetemperatur var maksimalt 0,3 °C. For bygg 2 var laveste gjennomsnittlige innetemperatur 21,6 °C, og maksimalt gjennomsnittlig temperaturfall 0,6 °C. Dette er innenfor Arbeidstilsynets anbefalinger (Arbeidstilsynet).

For bygg 2 var gjennomsnittlig innetemperatur aldri lavere enn 21,6 °C med tiltak A. Gjennomsnittlig fall i innetemperatur var maksimalt 0,6 °C. For bygg 2 var laveste gjennomsnittlige innetemperatur 20,6 °C, og maksimalt gjennomsnittlig temperaturfall 2,0 °C. Dette er innenfor Arbeidstilsynets anbefalinger.

Flere av temperaturloggerne viste at innetemperaturen steg under forsøkene, i både bygg 1 og 2 (Vedlegg B og C). Variasjon i innetemperatur kan være på grunn av radiatorventilens proporsjonalbånd. Dersom proporsjonalbåndet er lite, vil en liten endring i innetemperatur føre til at ventilen varierer åpningen hyppig. Det kan også skyldes innstillingen på termostater, og oppbygningen av det varmetekniske anlegget.

Andre feilkilder kan være uidentifiserte interne laster, feil på det varmetekniske anlegget, sollys og folk som har oppholdt seg i byggene. I bygg 1 er det ikke mulig å åpne vinduer, men i bygg 2 er også dette en potensiell feilkilde. Vestfløyen på bygg 1 har store vindusflater og er utsatt for mye ettermiddagssol, noe som kan gi en betydelig oppvarmingseffekt.

Det ble gjennomført et forsøk 19. mars i bygg 1 der gjennomsnittlig innetemperatur steg i løpet av de siste tre timene av forsøket. Dette kan skyldes at utetemperaturen steg raskt, og at regulatoren ikke klarte å tilpasse varmetilførselen fort nok. Det var også sol den dagen, som kan ha vært med på å øke innetemperaturen.

### 5.2.3 Reduksjon i effektuttak under tiltak

Det var forholdsvis stor spredning i resultatene mellom de tre forsøksseriene som ble kjørt for hvert tiltak. På grunn av denne spredningen, men også på generelt grunnlag, kunne resultatene med fordel vært basert på flere forsøksserier. Gjennomføring av forsøk og databearbeiding er tidkrevende, og det ble derfor vurdert at det ikke var tilstrekkelig tid til å gjennomføre flere forsøk.

Bygg 1 hadde en gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak på 20 kW for tre forsøk over seks timer med tiltak A. For tre forsøk med tiltak B over seks timer var gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak 42 kW.

Reduksjonen i effektuttak 19. februar med tiltak B var under halvparten av reduksjon i effektuttak de to andre forsøksdagene. Estimert effektuttak 19. februar var i gjennomsnitt 31 kW over seks timer. Reduksjon i effektuttak samme dag var i gjennomsnitt 22 kW over seks timer. Utetemperaturen var vesentlig høyere 19. februar enn på de to andre forsøksdagene. Under forsøket steg utetemperaturen fra 0,5 °C til 4 °C. Høy utetemperatur og medfølgende lavt estimert effektuttak forklarer hvorfor reduksjonen i effektuttak var lavere 19. februar enn de andre forsøksdagene.

Bygg 2 hadde med tiltak A høyere eller likt effektuttak som ved normal drift. Dette kan skyldes at mengderegulering i radiatortermostatene førte til økt volumstrøm eller redusert returtemperatur i radiator-kretsen. Både økning i volumstrøm og reduksjon av returtemperatur kan føre til at effektuttaket opprettholdes selv om turtemperaturen i kretsen reduseres.

Bygg 2 hadde med tiltak B gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak på 25 kW. Reduksjon i effektuttak med tiltak B var jevn for de tre forsøkene, selv om utetemperaturen varierte mye. Det betyr at reduksjonen i effektuttak var størst relativt til estimert effektuttak på dagene med høyest utetemperatur. Det kan virke som bygget, i likhet med under forsøk med tiltak A, kompenserte for tiltaket ved å øke volumstrømmen eller redusere returtemperaturen.

Oppvarmingsbehovet synker med stigende utetemperatur. Når utetemperaturen overstiger en grense, er det ikke lenger behov for oppvarming av bygget. For bygg 1 var denne grensen ca. 13 °C (Figur 3.5) og for bygg 2 ca. 17 °C (Figur 3.6). Det betyr at det ikke vil være mulig å måle maksimalt potensiale for reduksjon i effektuttak med tiltak B før utetemperaturen er under henholdsvis -7 °C og -3 °C. Ved utetemperaturer over dette vil tiltak B gjøre at det ikke tilføres noe effekt til oppvarming, og reduksjon i effektuttak blir direkte begrenset av utetemperaturen. Eksempelvis brukte bygg 1 normalt ca. 60 kW dersom utetemperaturen var

0 °C, og ved +5 °C brukte det ca. 40 kW (Figur 3.5). Det vil si at dersom utetemperaturen var +5 °C, var det ikke mulig å spare mer enn maksimalt 40 kW, uavhengig av hvor mye fyringskurven ble forskjøvet. Målt effektuttak under forsøket understreket denne begrensningen. I de tilfellene hvor effektuttaket var 0 kW eller 10 kW, kunne ikke bygget bruke mindre. Reduksjon i effektuttak kunne ikke bli større enn det estimerte effektuttaket ved den aktuelle utetemperaturen.

Resultatene viste at reduksjonen i effektuttak for bygg 1 virker å avhenge i stor grad av utetemperaturen. I bygg 2 var reduksjonen i effektuttak forholdsvis lik uavhengig av utetemperatur. Videre var det ikke mulig å etterprøve om økt utetemperatur under forsøket påvirket reduksjonen i effektuttak. Det viste seg at det ikke var mulig å undersøke om starttemperatur og endring av utetemperaturen hadde påvirkning på resultatet for bygg 2. Dette kommer av at de tre forsøkene som ble kjørt med tiltak B i bygg 2 hadde ulike utetemperaturer ved start og ulike stigninger i utetemperatur i løpet av de seks timene som forsøket varte. Det var derfor ikke mulig å verifisere i hvor stor grad dette påvirket resultatet.

#### 5.2.4 Varmekapasitet

Bygg 1 hadde en gjennomsnittlig spesifikk varmekapasitet på 21 Wh/°C m<sup>2</sup> for seks forsøk. Bygg 2 hadde en gjennomsnittlig spesifikk varmekapasitet på 32 Wh/°C m<sup>2</sup> for tre forsøk. Forskjellen i spesifikk varmekapasitet for de to byggene var betydelig. Dette kan skyldes flere faktorer, men det antas at den viktigste faktoren er at bygg 2 har en tyngre konstruksjon enn bygg 1. Bygg 2 har tykk betongkonstruksjon som er i kontakt med romluften, og dermed utgjør et stort varmelager som kan avgi varme til romluften ved redusert innetemperatur. Denne effekten forventes å være forsterket ved at bygg 2 har generelt lite åpne områder hvor det er langt mellom veggene.

### 5.3 Sammenligning med tidligere arbeid

Det er også tidligere utført forsøk på potensialet for termisk energilagring i bygg og konsekvenser dette kan ha for fjernvarmesystemer. Likevel er dette første gang, så vidt det er forfatterne bekjent, at forsøkene er utført på kontorbygg. Forsøksopplegget som ble benyttet i denne oppgaven har blitt benyttet i tidligere forskning, men det er første gang det er gjennomført forsøk med så stor oppjustering av utetemperaturen. Kontorbygg skiller seg fra boligbygg blant annet ved at byggene har ventilasjonsanlegg. Videre er brukstiden i kontorbygg vesentlig kortere (ukedager mellom kl. 08.00 og kl. 16.00) og romløsning ofte mer åpen.

Kensby et al. (2015) fant potensialet for å lagre termisk energi i bygg. I studien hevdet Kensby at resultatet var overførbart til andre bygg dersom oppjusteringen av utetemperatur ikke oversteg  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Derfor lar det seg ikke gjøre å sammenligne arbeidet til Kensby direkte med resultatene i denne oppgaven. Likevel er det ikke funnet studier som har bedre sammenligningsgrunnlag med forsøkene i denne oppgaven.

Det er gjort en tilnærming for å kunne sammenligne Kensby sine resultater med resultatene i denne oppgaven. Det antas at reduksjonen i effektuttak er lineært stigende for oppjustering av utetemperaturen fra  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dette betyr at følgende sammenligning ikke er innenfor betingelsene som er lagt til grunn for Kensby sine resultater. Da kan tiltak A, med oppjustering av  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  over seks timer tilsvarende 60 gradtimer, sammenlignes. I studien til Kensby ble det funnet at alle testbyggene kunne lagre 63 gradtimer med mindre enn  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  fall i innetemperatur. Bygg 1 sitt effektuttak steg med  $4,5\text{ kWh/h}$  for hver grad fall i utetemperatur (Figur 3.5) Dersom dette multipliseres med 63 gradtimer, har bygg 1 ifølge Kensby en termisk lagringsevne på  $284\text{ kWh}$ . Det tilsvarer gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak over seks timer på  $47\text{ kW}$ . I denne oppgaven ble det beregnet en gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak på  $20\text{ kW}$ , med gjennomsnittlig fall i innetemperatur på maksimalt  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Dette avviket indikerer at reduksjonen i effektuttak ikke kan antas å stige lineært dersom utetemperaturen oppjusteres over Kensby sin grense på  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Avviket kan også skyldes at bygg 1 ikke er tilstrekkelig sammenlignbart med testbyggene i studien.

Testbyggene var boligbygg med en tung betongkonstruksjon. Disse boligbyggene hadde generelt mindre romløsninger og flere tykke betongvegger mellom rommene enn bygg 1. Dette skyldes at bygg 1 er et kontorbygg med større bruk av lettvegger mellom rom og en mer åpen romløsning. Det er derfor forventet at bygg 1 har mindre termisk lagringsevne enn

testbyggene i studien, og følgelig ikke kan redusere effektuttaket like mye gitt kravet om maksimalt fall i innetemperatur.

#### 5.4 Veien videre

Det er flere utfordringer som må løses dersom Hafslund Varme skal kunne utnytte potensialet for å bruke termisk lagret energi i kontorbygg. Noen utfordringer ble identifisert gjennom forsøksarbeidet. Ventilasjonsanlegget utgjør fremdeles den største begrensningen for å utnytte termisk lagret energi i kontorbygg. Denne utfordringen var kjent før arbeidet startet. Derfor ble det, i samarbeid med Hafslund Varme, besluttet at forsøkene ikke skulle utføres med aktivt ventilasjonsanlegg. For at termisk lagret energi i kontorbygg skal kunne benyttes, må det innføres tiltak på ventilasjonsanlegget. Et mulig tiltak på sikt er å installere separate regulatorer for radiator- og ventilasjonskrets, slik som det er i bygg 1. Det gjør det mulig å styre radiatorkretsen og ventilasjonskretsen hver for seg, og dermed styre hvor varmetilførselen skal reduseres. Likevel er det mulig at det kreves flere tiltak for å sikre at ventilasjonsanlegget ikke motvirker reduksjonen i effektuttak fra radiatorene. En annen mulighet er derfor å gjøre investeringer som gjør at ventilasjonsanlegget kan styres i større grad enn det som var mulig i forsøksbyggene. Da kan det for eksempel være mulig å endre luftmengde og temperatur på ventilasjonsluften i timene med tiltak for å redusere effektuttak.

Siden Hafslund Varme ønsker å benytte termisk lagret energi i bygg til å jevne ut effekttopper i fjernvarmenettet, må tiltaket implementeres på mange bygg. Effekttoppen i fjernvarmenettet til Hafslund Varme er størst om morgenen, men effektbehovet er likevel stort videre utover dagen (Figur 2.4). Det viste seg at det ikke var før kvelden, ofte ti timer etter effekttopp, at effektbehovet virkelig sank. Hensikten med å bruke termisk lagret energi er å flytte noe av effektuttaket til timer med lavere behov. Dersom mange bygg skal reduserer sitt effektuttak om morgenen, vil det kunne føre til at det oppstår en ny effekttopp når disse byggene seks timer senere trenger å øke sitt effektuttak for å kompensere for perioden med reduksjon i effektuttak. Dette kan føre til at effekttoppen bare forskyves. Derfor antas det at det er nødvendig å styre når og hvor lenge enkelte bygg skal redusere sitt effektuttak, for å oppnå en utjevning av effektbehovet i nettet og ikke en forskyvning av effekttoppen. Styringen av termisk lager i bygg må også tilpasses for hver enkelt dag, fordi effektbehovet i fjernvarmenettet varierer.

Skal Hafslund Varme styre når og hvor lenge hvert enkelt bygg skal redusere sitt effektuttak, er det nødvendig å kunne fjernstyre den enkelte kundesentralen. Da vil det være mulig å justere fyringskurven til det enkelte bygg, og på den måten styre når effektuttaket skal reduseres. Slik situasjonen er i dag kan Hafslund Varme fjernstyre ca. 600 kundesentraler. Disse kundesentralene kan være i eneboliger, boligblokker og næringsbygg.

Et eksempel, hvor resultatene fra tiltak B ble brukt, viste at dersom effekttoppen et representativt vinterdøgn (5. januar) skulle utjevnes, var det behov for mellom 160 og 430 bygg. Det antas i denne sammenheng at gjennomsnittlig bruksareal per bygg er 10 000 m<sup>2</sup>. Hvorvidt det er nødvendig med 160 eller 430 bygg avhenger om de termiske egenskapene til byggene ligner mest på henholdsvis bygg 2 eller bygg 1. Det er ikke grunnlag for å si om Hafslund Varme per i dag har muligheten til å fjernstyre nok bygg til å gjennomføre overnevnte.

I denne oppgaven har det ikke blitt vurdert hvordan innreguleringen etter tiltak skal håndteres. Resultatene viste at forsøksbyggene fikk økt effektuttak etter at fyringskurven ble stilt tilbake til normal innstilling. Det er forventet at effektuttaket øker i timene etter tiltaket, fordi det må kompenseres for den reduksjonen i effektuttak som har vært. Likevel finnes det muligheter for å kontrollere effektuttaket, for å unngå en brå økning i timene etter tiltak. En måte å redusere denne effekttoppen på kunne vært å innføre et effekttak hos kunden. Effekttaket setter en begrensning for maksimalt effektuttak. Det kan begrense en brå økning i effektuttak i timene etter tiltak.

## 6 Konklusjon

Resultatene viste at det var mulig å redusere effektuttaket til et bygg over en seks timers periode, og fremdeles ha akseptabel innetemperatur. Alle resultatene er oppgitt relativt til byggets bruksareal.

Oppjustering av utetemperaturen med +10 °C ga følgende resultater:

- I bygg 1 var gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak 2,1 W/m<sup>2</sup> med gjennomsnittlig fall i innetemperatur på maksimalt 0,3 °C
- I bygg 2 ble det ikke registrert noen reduksjon i effektuttak

Oppjustering av utetemperaturen med +20 °C ga følgende resultater

- I bygg 1 var gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak 4,2 W/m<sup>2</sup> med gjennomsnittlig fall i innetemperatur på maksimalt 0,7 °C
- I bygg 2 var gjennomsnittlig reduksjon i effektuttak 12 W/m<sup>2</sup> med gjennomsnittlig fall i innetemperatur på maksimalt 2 °C

Varmekapasiteten ble beregnet til 21 Wh/°Cm<sup>2</sup> i bygg 1 og 32 Wh/°Cm<sup>2</sup> i bygg 2.





## Referanser

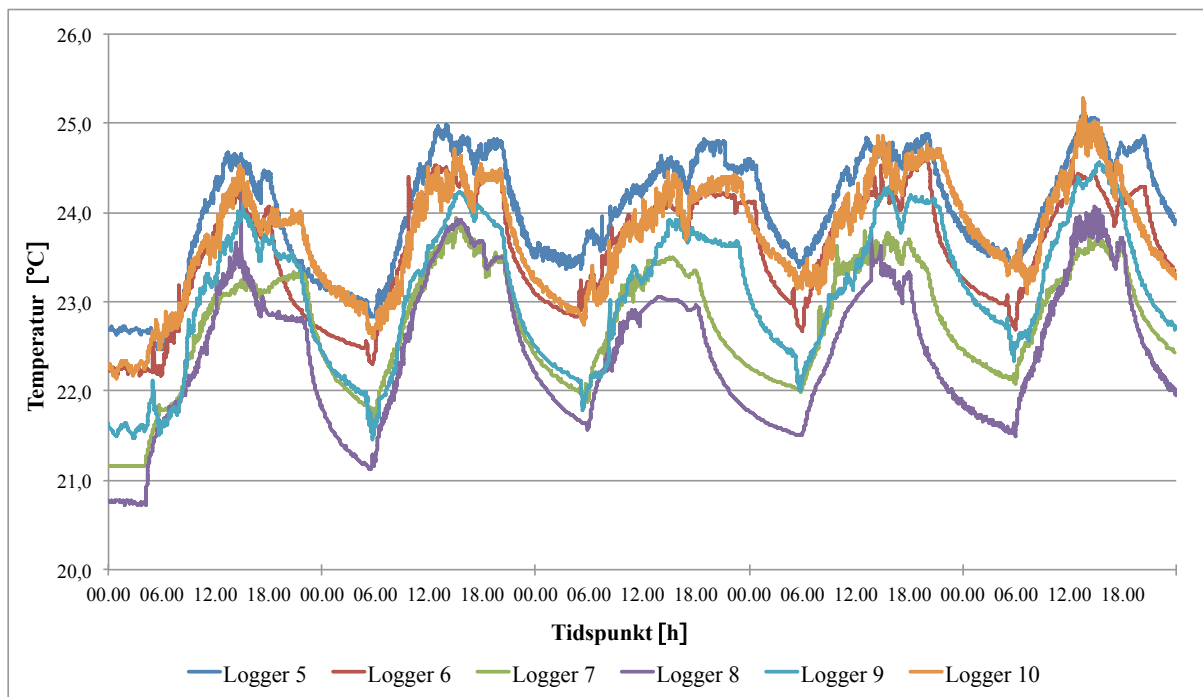
- Arbeidstilsynet. *Temperatur - varme og kulde på jobben*. Tilgjengelig fra: <http://www.arbeidstilsynet.no/fakta.html?tid=78340> (lest 02.03.2017).
- Astma- og allergiforbundet. *Hva er inneklime?* Tilgjengelig fra: <http://www.naaf.no/fokusomrader/inneklime/> (lest 02.03.2017).
- Behovsstyrt ventilasjon*. (2016). Tilgjengelig fra: <http://lavenergiprogrammet.no/prosjektering-av-passivhus/behovsstyrt-ventilasjon/> (lest 10.02.2017).
- Carlsson, J. (2016). *Marginal Price Control of Buildings Utilised as Thermal Energy Storage*. Göteborg: Chalmers, Civil and Environmental Engineering.
- Danfoss. (2017). *Indirectly connected room heating and instantaneous domestic hot water application*. Tilgjengelig fra: <http://dh-applications.danfoss.com/application411.html?build=mfc&app=com>. (lest 17.04.2017).
- Dincer, I. & Rosen, M. A. (2011). *Thermal Energy Storage - Systems and applications*. .2 utg.: Wiley.
- Energiloven. (1990). *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50> (lest 6.4.2017).
- Hafslund Varme AS. (2013). *District heating: How district heating works*. Tilgjengelig fra: <https://www.hafslund.no/english/districtheating/home/8151> (lest 24.01.2017).
- Hafslund Varme AS. (2017a). *Bestemmelser om tilknytning til Hafslund Varmes fjernvarmenett for nybygg*. Oslo: Hafslund Varme AS. 22 s.
- Hafslund Varme AS. (2017b). *Fjernvarmepriser og vilkår*. Tilgjengelig fra: [https://www.hafslund.no/fjernvarme/priser\\_og\\_vilkaar/2069](https://www.hafslund.no/fjernvarme/priser_og_vilkaar/2069) (lest 15.03.2017).
- Hafslund Varme AS. (2017c). *Miljøpåvirkning fra Hafslund Varme*. Tilgjengelig fra: [https://www.hafslund.no/omhafslund/miljopaavirkning\\_fra\\_hafslund\\_varme/7134](https://www.hafslund.no/omhafslund/miljopaavirkning_fra_hafslund_varme/7134) (lest 24.01.2017).
- Henriksen, E. (2017). *Spørsmål til nye sentraler med effekttak* (e-post 04.05.2017).
- Inderhaug, K. (2017). *Masteroppgave* (e-post 04.05.2017).
- Kensby, J., Trüschel, A. & Dalenbäck, J.-O. (2014). *Utilizing Buildings as Short-Term Thermal Energy Storage*. The 14th International Symposium on District Heating and Cooling, September 7th to September 9th, 2014, Stockholm, Sweden. 211-220 s.
- Kensby, J. (2015). *Buildings as thermal energy storage*: Citeseer.
- Kensby, J., Trüschel, A. & Dalenbäck, J.-O. (2015). Potential of residential buildings as thermal energy storage in district heating systems—results from a pilot test. *Applied Energy*, 137: 773-781.

- Koren, E. (2017). *Kort spørsmål* (e-post 03.05.2017).
- Nilsen, Ø. (2017). *Intervju med direktør for varmeplan Øyvind Nilsen i Hafslund Varme*. Oslo.
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2016). *Analyse av energibruk i yrkesbygg*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. 63 s.
- Norsk Fjernvarme. *Fjernvarme*. Tilgjengelig fra: <http://www.fjernvarme.no/index.php?pageID=30&openLevel=3> (lest 24.01.2017).
- Olsson Ingvarson, L. & Werner, S. (2008). *Building mass used as short term heat storage*. 11th International Symposium on District Heating and Cooling, Reykjavik, Iceland, August 31–September 2, 2008.
- Ringstad, T. (2017). *Intervju med senioringeniør Tom Ringstad ved fakultet for realfag og teknologi ved NMBU*. Ås.
- Seppanen, O., Fisk, W. J. & Lei, Q. (2006). Effect of temperature on task performance in office environment. *Lawrence Berkeley National Laboratory*.
- Sintef Energiforskning. (2007). *ENØK i bygninger: Effektiv energibruk*. 3. utg.: Gyldendal Norsk Forlag AS. 476 s.
- Sirén, T. (2014). *Utvecklingsmöjligheter för fjärrvärmens affärsmodell: Genom användning av byggnader som värmelager*.
- Stensaas, L. I. (1996). *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. Trondheim: Skarland Press AS. 338 s.
- Stensaas, L. I. (1999). *Ventilasjonsteknikk I: Grunnlaget og systemer*. 4. utg. Oslo: Skarland Press AS.
- Westin, A. (2017). *Masteroppgave* (e-post 04.05.2017).

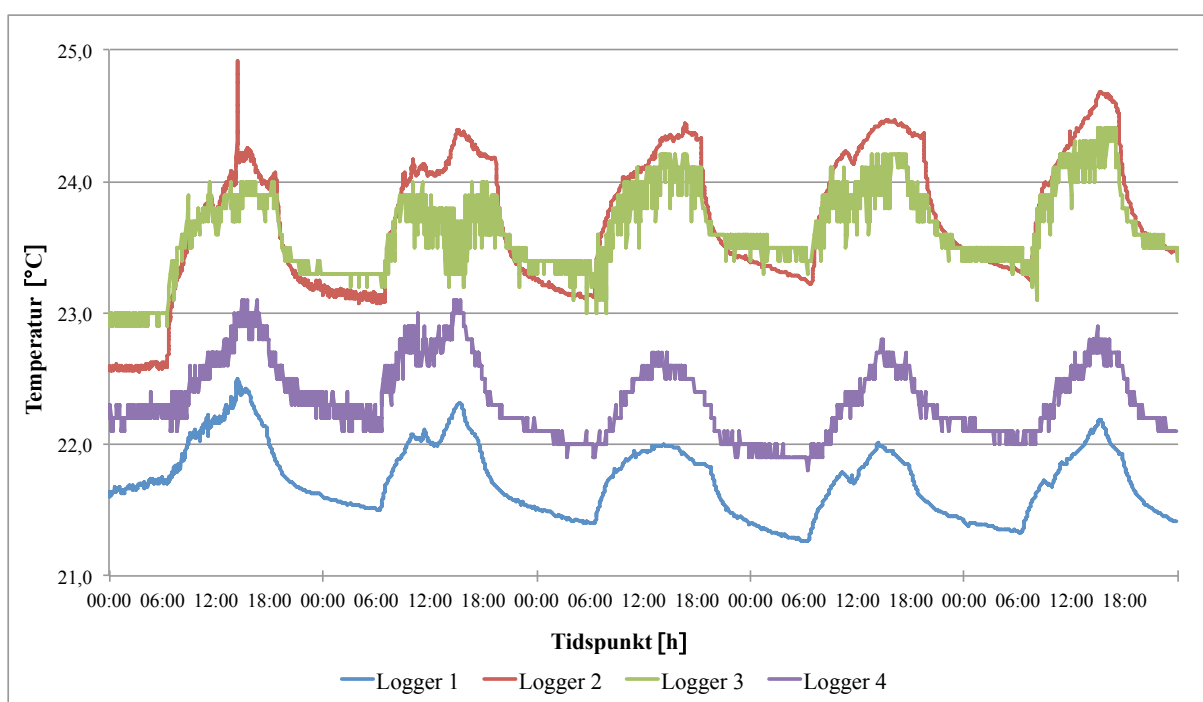
# Vedlegg A – Innetemperatur en normal arbeidsuke

Rådata: Normalvariasjon i en representativ vinteruke for alle temperaturloggere.

## Bygg 1



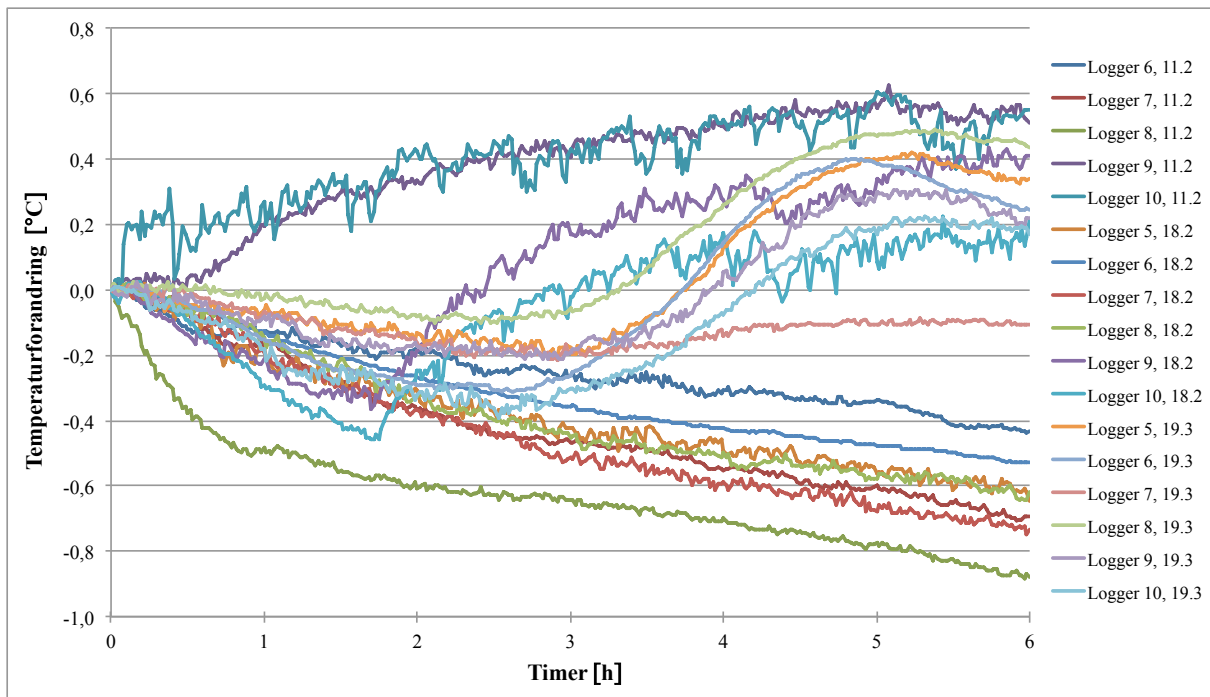
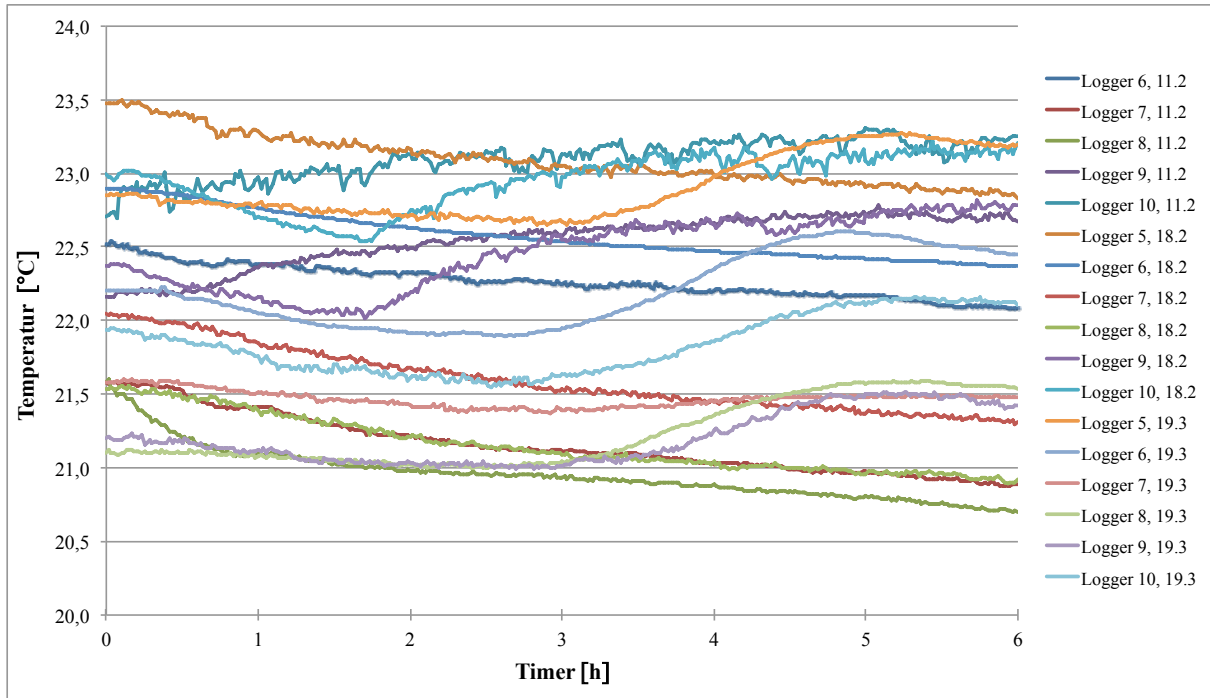
## Bygg 2



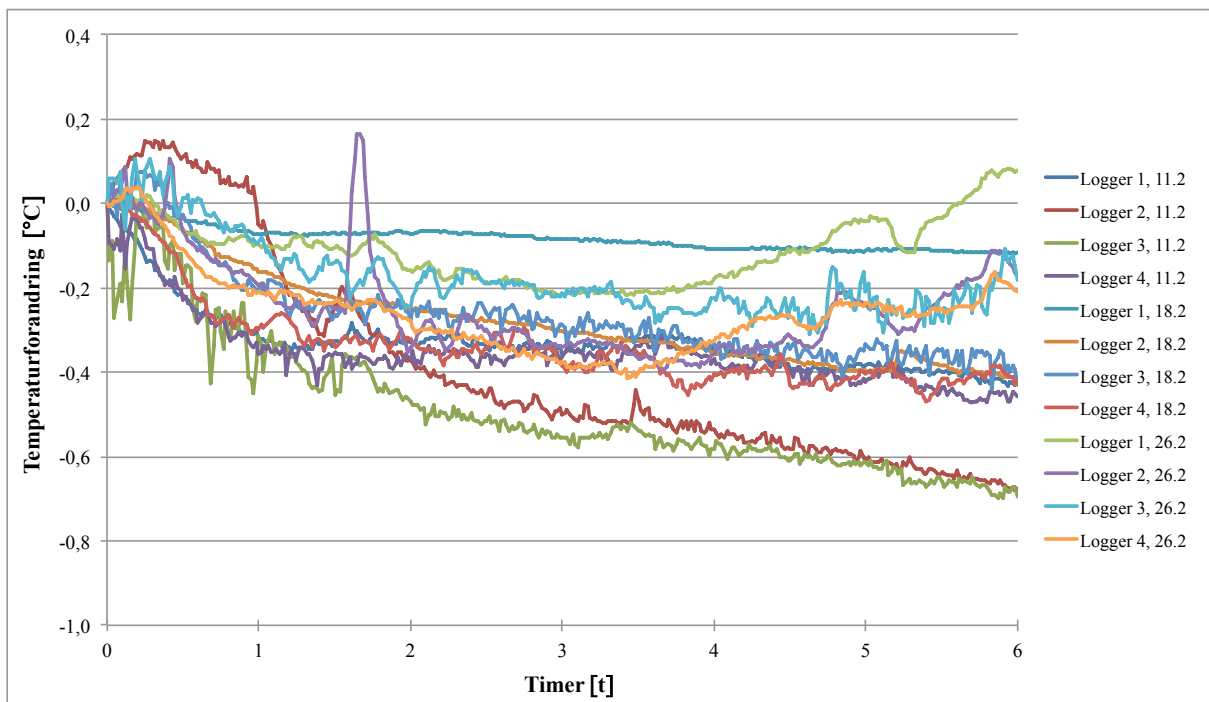
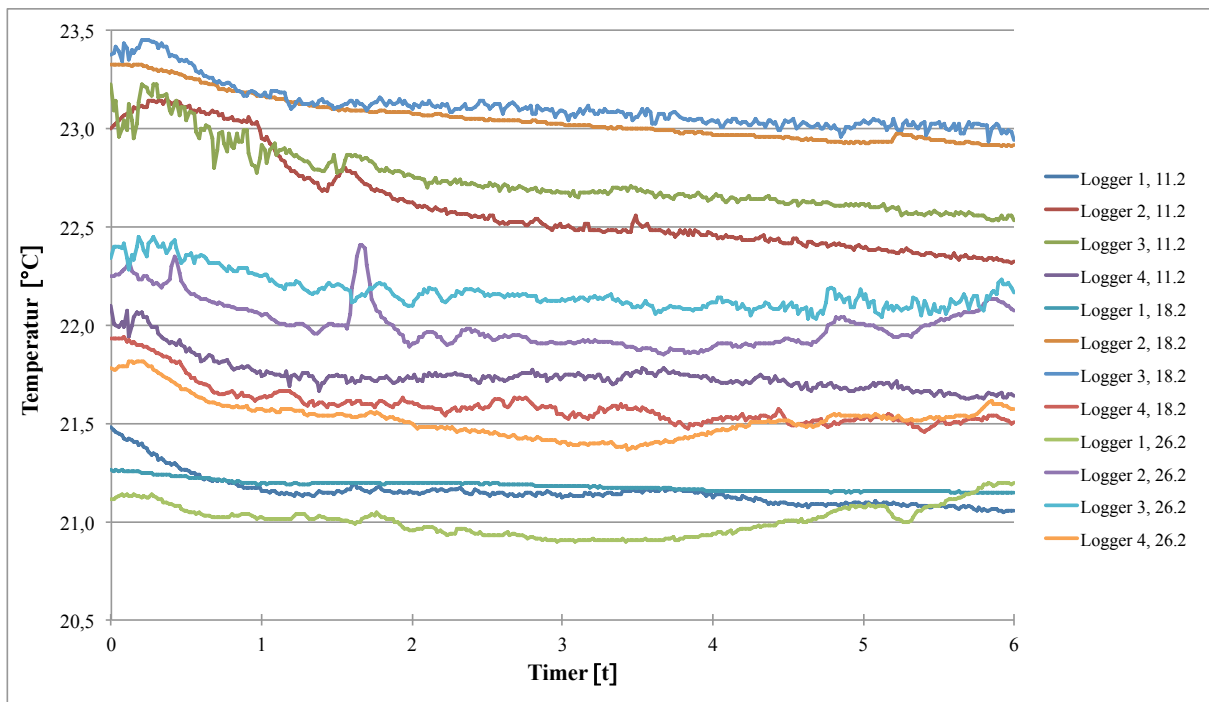
# Vedlegg B – Innetemperatur med tiltak A i bygg 1 og 2

Rådata: Temperaturfall og temperaturforandring i innetemperatur for alle temperaturloggere med tiltak A alle dager.

## Bygg 1



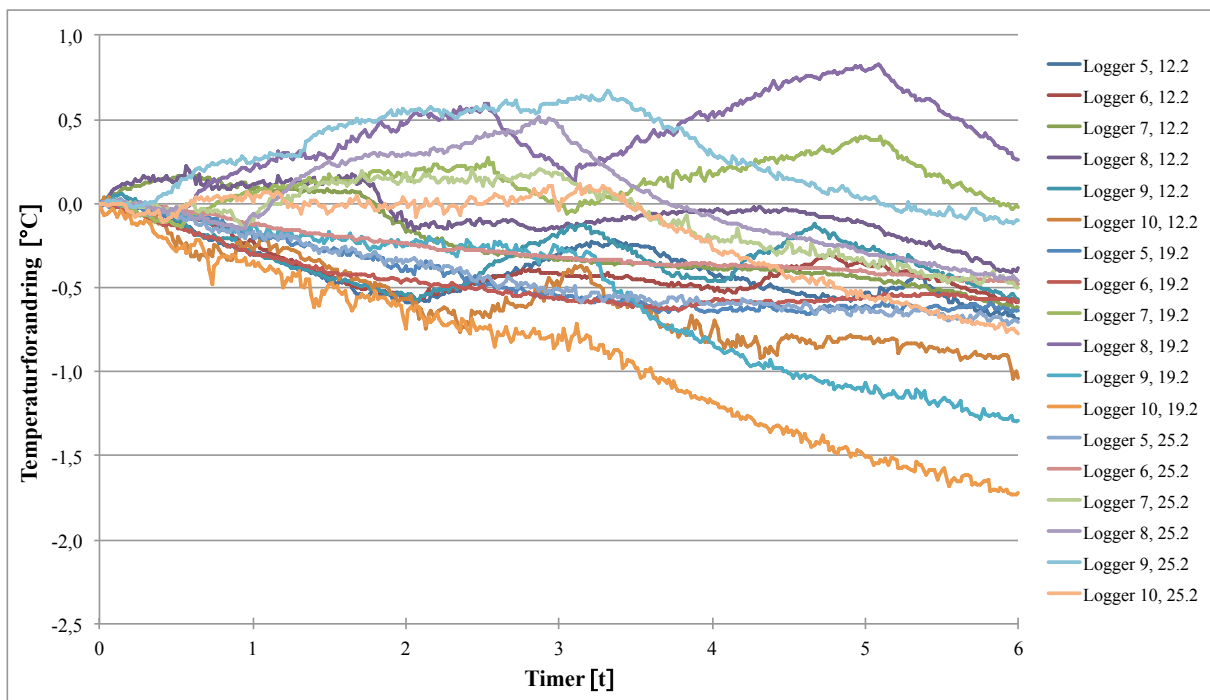
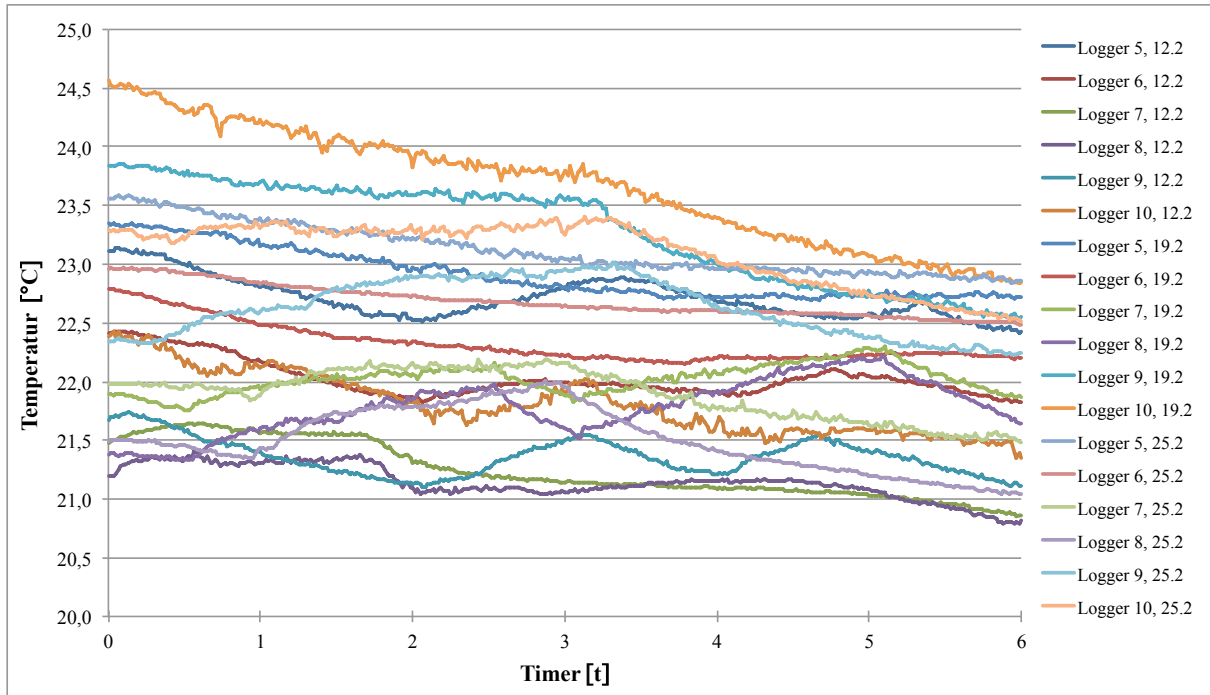
## Bygg 2



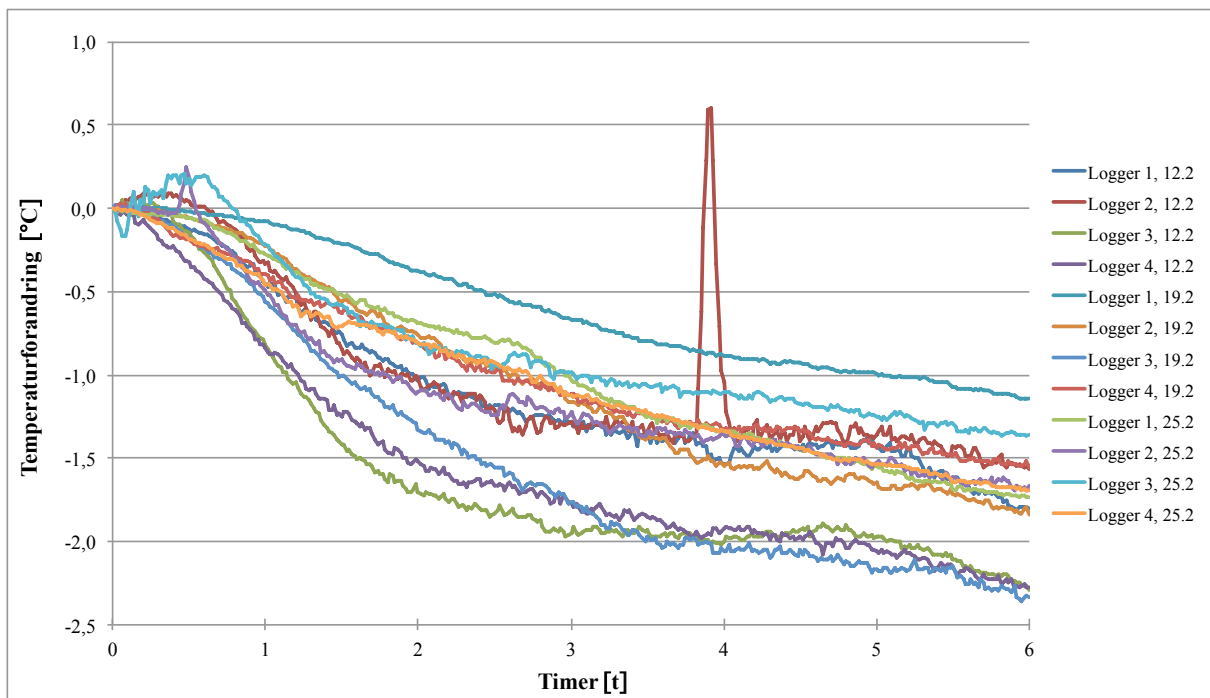
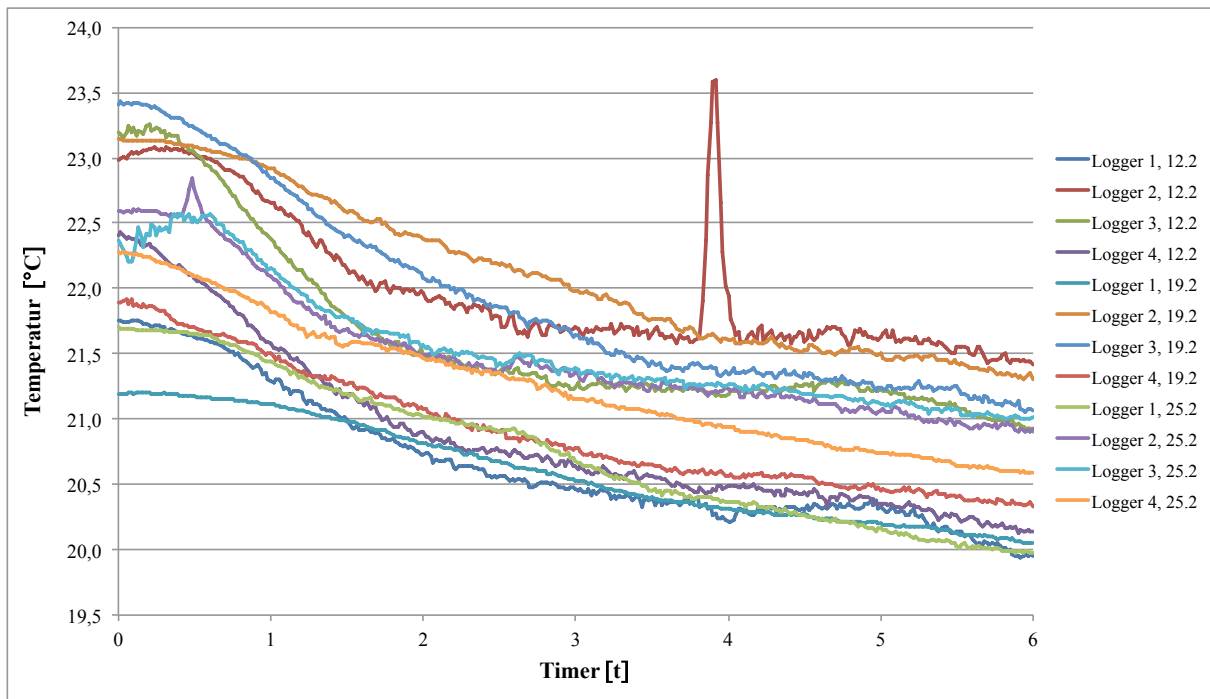
# Vedlegg C – Innetemperatur med tiltak B i bygg 1 og 2

Rådata: Temperaturfall og temperaturforandring i innetemperatur med tiltak B for alle temperaturloggere alle dager.

## Bygg 1



## Bygg 2



## Vedlegg D – Mail fra kontakter i Hafslund Varme AS

Diverse mail med ulike fagpersoner i Hafslund Varme AS.

### Mail 1 – Knut Inderhaug

**Fra:** Marthe Christensen  
**Sendt:** ti 02.05, 15.32  
**Til:** Westin Anders [Anders.Westin@hafslund.no](mailto:Anders.Westin@hafslund.no)  
**Emne:** Masteroppgave

Hei igjen,  
Siden det blir travelt å få til et møte nå, håper vi en av dere kan ta seg tid til å svare kort på spørsmålene nedenfor, evt. kan vi ringes hvis det er lettere.

Vi skal skrive litt om hvor langt Hafslund Varme har kommet i forhold til aktiv effektstyring i fjernvarmenettet.

Dere har tidligere snakket om et prosjekt med effekttak hos enkelte kunder - er dette implementert og i bruk?  
Kan slike effekttak bidra til å redusere effekttopper i fjernvarmenettet, eller reduserer det kun effekttariffen til kunden?  
Ser Hafslund Varme for seg at effekttak er metoden som vil bli brukt for effektstyring framover? Er det evt. andre metoder for effektstyring som utvikles eller er i bruk (eksempelvis bruk av "smarte" regulatorer)?

Hilsen Nikolai og Marthe

**Fra:** Inderhaug Knut <Knut.Inderhaug@hafslund.no>  
**Sendt:** to 04.05.2017 08:59  
**Til:** Westin Anders <Anders.Westin@hafslund.no>; Marthe Christensen; Nikolai Kjær Moskvil <nikkomosk@gmail.com>  
**Emne:** Masteroppgave

Hei Marthe og Nikolai.  
Vi har høsten 2016 og vinteren 2017 jobbet med Thon og Braathen på prosjekt med effektstyring. Vi har støtt på noen tekniske problemer, og noen utfordringer rundt egne brannmurer til vårt prosessnett.  
Det tekniske kom raskt på plass, men det var ikke før i februar vi fikk løst utfordringene med brannmurene og sikkerheten rundt vårt prosessnett. Det betyr at løsningen vi trodde skulle være i skarp bruk av fra nyttår, ikke enda er satt ut i live. Mest sannsynlig vil løsningen ikke være i drift før til høsten.  
Hvis dere ønsker konkret teknisk info kan dere snakke med Erik Henriksen som er prosjektleder, han deler gjerne!

Med vennlig hilsen | Yours sincerely  
Hafslund Varme AS | Hafslund Heat  
Knut Inderhaug  
Direktør Forretningsutvikling Varme | Director Business Development, Heat



## Mail 2 – Anders Westin

**Fra:** Westin Anders <Anders.Westin@hafslund.no>

**Sendt:** to 04.05.2017 09:22

**Til:** Marthe Christensen; Nikolai Kjær Moskvil <nikkomosk@gmail.com> Inderhaug Knut <Knut.Inderhaug@hafslund.no>

**Emne:** Masteroppgave

Hei igjen Marthe og Nikolai,

Angående prosjekt med Thon, se Knut sitt svar. Jeg skal forsøke svare på de andre spørsmålene. Overgripende, så har vi nettopp startet å arbeide med effektstyring og akkurat hvordan det skal gjøres kommende år og i framtiden er derfor fortsatt veldig usikker. Jeg ser for meg at vi får teste lit ulike løsninger og evaluere hva som fungerer best for alle parter. Effekttak som dere nevner kan vara en løsning om den utformas på rett sett. Det er viktig å huske at dette er termiske energisystemer med en stor tregghet som gjør det betydelig vanskeligere å styre bort momentane laster slik man kan gjøre i et kraftnett. Det er dokk helt klart at det på visse tidspunkter om dagen (for eksempel på morgonen) er ett høyt samtidig uttak av varme og gjennom å implementere løsninger som resulterer i et minsket uttak i disse perioder så har vi også muligheten å redusere det totale effektuttaket i nettet. Vi ser at den store verdien ligger i å få en flatere effektkurve, hvilket minsker behovet for spisslast og som samtidig gjør det enklere å bygge ut mindre regulerbare energikilder som f.eks. varmegjenvinning fra datasenter.

Eksakt hvilke metoder vi kommer å bruke for å nå hit er som sagt ikke bestemt, men jeg tror det er en stor sannsynlighet før at vi mikser ulike tiltak for å oppnå best mulig effekt. Mulige tiltak kan deles in i følgende kategorier:

- Tariffendringer med mål om å redusere effektuttak
- Styring av nettet for å redusere effektuttak (f.eks. benytte dem termiske treggheten i bygg og nett).
- Smarte komponenter som «automatisk» styr nettet mer optimalt og derigjennom reduserer effekten

Jeg håper dette svarer på deres spørsmål og som Knut sa, så er det bara å kontakta Erik for mer info. kring prosjektet med Thon.

Lykke till med innspurten ☺!

Vennlig hilsning

Anders

### Mail 3 – Erik Henriksen

**From:** Nikolai Huisman Moskvil [mailto:[nikkomosk@gmail.com](mailto:nikkomosk@gmail.com)]

**Sent:** 4. mai 2017 10:13

**To:** Henriksen Erik <[Erik.Henriksen@hafslund.no](mailto:Erik.Henriksen@hafslund.no)>

**Subject:** Spørsmål til nye sentraler med effekttak

Hei

I forbindelse med masteroppgaven lurer jeg på om du ha mulighet til å gi en beskrivelse av prosjektet med implementering av regulatorer med mulighet for innstilling av effekttak?

Beskriv gjerne det tekniske rundt komponenter og hvilken type kommunikasjon som trengs, litt om bakgrunn og målsetning for prosjektet og eventuelt annet du mener er relevant.

Hilsen

Nikolai H. Moskvil

4. mai 2017 kl. 12:33 skrev Henriksen Erik <[Erik.Henriksen@hafslund.no](mailto:Erik.Henriksen@hafslund.no)>:

Hei

Jeg skriver bare alt på en gang, så får du strukturere det som du vil. Effektbegrensning er en funksjon som de nye regulatorene våre har (av typen Micro Logic). Revisjonen, som er definert som revisjon 23, inneholder flere funksjoner enn bare effektbegrensning.

Regulatoren får verdier på effekt, temperaturer og flow fra energimåleren. Kommunikasjonen er her basert på mbus.

Regulatoren får også utetemperaturverdier fra uteføler, og turtemperaturverdier fra føler på samlestock sekundær.

Vi kan sette en effektkurve for sentralen, på samme måte som vi setter en fyringskurve. Forskjellen er her at y-verdiene er i kW, mens fyringskurven settes som turtemperatur i °C. Effektkurven skal settes i samarbeid med kunde, og skal være en avtale som er skrevet under av begge parter. Dette pga. at det kan være alvorlige følger av å begrense effekt uten at sekundærsiden er blitt justert for dette. Kunde skal ha ansvaret for en aktiv effektbegrensning, vi skal bare tilby funksjonen.

Regulatoren har en minimumsvelger, som alltid velger den verdien som er minst av de verdiene den får inn. Hvis effektbegrensning er aktiv, skal minimumsvelgeren sjekke om fyringskurven eller effektbegrensningen er styrende. Hvis for eksempel effektkurven er 1000 kW leverer regulatoren dette, men turtemperaturen skal aldri gå over fyringskurven.

Bakgrunn for prosjektet er å kunne redusere effekttopper, slik at vi kan levere en større andel varme med den installerte produksjonskapasiteten som vi har. Målsetning er ikke fastsatt, men overordnet mål er å redusere effekttopper. Næringsbygg er relevant i denne sammenheng.

Erik

## Mail 4 – Esten Koren

**Fra:** Nikolai Huisman Moskvil [mailto:[nikkomosk@gmail.com](mailto:nikkomosk@gmail.com)]

**Sendt:** tirsdag 2. mai 2017 13.28

**Til:** Koren Esten <[Esten.Koren@hafslund.no](mailto:Esten.Koren@hafslund.no)>

**Emne:** Kort spørsmål

Hei.

I forbindelse med masteroppgaven lurer jeg på hva dere per dags dato har muligheten til å endre, via pc og internett, på kundens varmeanlegg? Har dere f.eks muligheten til å endre på turtemperaturen som gis til radiatorkretsen i bygget? Eller noen andre endringer som begrenser hva kunden kan hente ut av effekt? Hvilke programmer er det eventuelt som brukes?

Vennlig hilsen Nikolai H. Moskvil

3. mai 2017 kl. 12:27 skrev Koren Esten <[Esten.Koren@hafslund.no](mailto:Esten.Koren@hafslund.no)>:

Hei,

Ja, på kundesentraler fjernstyring (KTC og ML) har vi mulighet å endre fyringskurven. Gjelder totalt ca. 600 av ca. 2000 kundesentraler.

På nyere ML sentraler har vi også åpnet for at kunden selv kan sette maks. effekt uttak.

For detaljer rundt spørsmålene dine, ta kontakt med Erik Henriksen, e-post: [Erik.Henriksen@hafslund.no](mailto:Erik.Henriksen@hafslund.no). Han står også på kopi på denne e-posten.

Hilsen

Esten



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway