

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som avslutning på mitt masterstudie i miljøfysikk og fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Jeg vil benytte anledningen til å takke NCE Smart Energy Marktes, som jeg har samarbeidet med i denne masteroppgaven. Jeg vil også gjerne takke alle de som har hjulpet meg underveis i oppgaven. En spesiell takk rettes til professor Cecilia Marie Futsæther, som har vært min hovedveileder ved NMBU, Cecilia har vært en stor hjelp, og bidratt under hele prosessen. I tillegg rettes en stor takk til spesialrådgiver Bernt Arild Bremdal ved NCE Smart Energy Markets, som har vært min veileder ved NCE Smart Energy Markets. Bernt har vært den faglige veilederen under masterarbeidet, og var det var han som ga inspirasjon til valg av problemstilling. En stor takk rettes til Tom Ringstad (Overingeniør ved, IMT, NMBU), som har hjulpet med å skaffe til veie utstyr til logging, satt opp loggeprogram, og vært ansvarlig for å skaffe til veie forsøksrom. I tillegg har han kommet med gode faglige råd underveis. Takk også til Teamleader Per Olav Bjørgum i Glen Dimplex Nordic, som donerte Dimplex Quantum QM-100 på vegne av Dimplex Southampton, til forsøkene. Takk rettes til førsteamanuensis Carlos Salas Bringas ved NMBU, for hjelp med simuleringen. Takk til professor Tormod Aurlien ved NMBU for gode råd rundt tanker om oppvarming, og for anskaffelse av varmekamera. Takk til Gunleiv Sæland for hjelp til å støpe betong-blokken. Takk til Øystein Salomonsen for hjelp med tegning av forsøksrommet i SolidWorks. Takk til Varmepipa AS, for gratis olivin-element.

Sist, men ikke minst takk til gode venner og familie for gode samtaler, råd og hjelp underveis. Uten så mange gode folk rundt meg hadde prosessen vært en helt annen.

Ås, 15.mai 2015

Glenn Andre´ Knutheim

Sammendrag.

Denne oppgaven gir en introduksjon til viktigheten av løsninger for peak shaving i Norge. Peak shaving er flytting av effektforbruk fra tider på døgnet når forbruket er høyt, til tider på døgnet når forbruket er lavere. Det gjøres for å frigjøre kapasitet i strømmettet, slik at en kan utnytte eksisterende infrastruktur mer effektivt.

I denne masteroppgaven sammenlignes fire forskjellige ovner for å bestemme om de er egnet til peak shaving i norske boliger. Tre av ovnene er allerede i bruk i norske husholdninger. Disse er en standard gulvovn fra Mill, en oljefylt radiator fra DeLonghi, og en panelovn med glassoverflate fra Mill. Den fjerde ovnen er ennå ikke tilgjengelig på det norske markedet. Denne ovnen består av 5 varme-elementer der 4 er knyttet opp til en termisk masse bestående av 70 kg magnetitt. Ovnene er utviklet til det britiske markedet hvor den bidrar til peak shaving i dag. I tillegg testes det hvilken betydning termiske masser har for ovnenes yteevne.

I tillegg er gulvovnens oppvarmings- og nedkjølings-forløp simulert i SolidWorks, sammen med en termisk masse. Ovnene er også fotografert med infrarødt kamera, og et forsøk i en garasje med høyere U-verdier enn forsøksrommet er utført for ovnen fra England.

Resultatene fra forsøkene viser at gulvovnen varmer opp rommet raskt, men den holder heller ikke oppe varmen i rommet etter at effekten til ovnen kobles ut. Den blir derfor ikke anbefalt til videre arbeid. Den oljefylte radiatoren, varmer også opp rommet raskt, men holder bedre på varmen. Det bør derfor arbeides videre for å finne ut hvordan en kan forbedre den nok til å kunne bidra til peak shaving. Panelovnen bruker lang tid på å varme opp rommet, og holder middels bra på varmen. Det anbefales derfor å jobbe videre med muligheter for å forbedre ovnen, slik at den kan benyttes til peak shaving. Ovnene fra England presterer meget bra, den bruker lang tid på å varme opp rommet. Til gjengjeld holder den oppe temperaturen i rommet i 19 timer under drift, selv om effekten er koblet. Den holder også oppe temperaturen jevnt over tid. Begge disse egenskapene gjenskapes til en viss grad i forsøket i garasjen. Alle ovner holder temperaturen i forsøksrommet oppe lengre etter utkoblet effekt, når en termisk masse blir tilført i rommet. Bildene tatt med varmekamera, viser at ovnene har ujevn varmfordeling på overflaten til ovnene under oppvarming. Arbeidet med simulering peker på at om en klarer å gjenskape eksperimentelle forhold, kan en jobbe med ovndesign, uten å måtte investere i en prototype for alle løsninger.

Det anbefales videre å teste ut om det er mulig å få til et ovndesign som baserer seg på faseforandrende materialer. I tillegg anbefales det å teste ut ovnen fra England under reelle forhold, for undersøke om ovnen kan fungere som en løsning for peak shaving også i Norge.

Abstract

This Master-thesis gives an introduction to the importance of peak shaving solutions in Norway. Peak shaving is done, by moving power consumption from times in the day with high power consumption, to times in the day when the consumption is lower. Peak shaving is important because it allows a better use of the capacity of the power grid, in more hours of the year.

In this Master-thesis four heaters are tested to determine if they can contribute to peak shaving in Norway. Three of these heaters are commonly used in Norwegian homes today. These are a convection heater from Mill, an oil filled radiator from DeLonghi, and a glass panel heater. The fourth oven is not yet available on the Norwegian market. This heater is made up of five heating elements, where four of them are in direct contact with a thermal mass of 70 kg magnetite. This oven is being used for peak shaving in England already. Two thermal masses are also tested, to figure out if they can affect the performance of the heaters. The heating and cooling of the room due to the performance of the convection heater is simulated in SolidWorks Flow Simulation. Pictures of the heaters are taken with an infrared camera, to get an idea on how the temperature distribution is on the surfaces of the heaters during warm up period. A test with the oven from England is also carried out in a garage. This is done to test the heater outside the lab-environment.

The results show that the convection heater, heats up the room very fast, but that the heat is not contained in the room. It will not be recommended for peak shaving applications. The oil filled radiator also heats up the room fast, but it is able to uphold a comfortable room temperature over a longer period of time. It still needs some upgrades, but it shows promising tendencies for use in peak shaving applications. Further tests should be carried out. The glass panel heater used a long time to heat the room, but it is able to keep the room at a comfortable temperature almost as long as the oil filled radiator. It will need upgrades to be able to be used for peak shaving applications. It is recommended to test the oven with upgrades. The heater from England performs very well. It takes a long time to heat up the room, but when the room is at a comfortable temperature, the heater is able to keep the room at this temperature even if the power to the oven is disconnected for 19 hours. It is able to keep an even temperature, which is somewhat recreated in the tests done in the garage. All heaters are able to keep the room warm for a longer period of time with the thermal masses in the room, than without them. The infrared camera shows an uneven heat distribution on the surface of all the heaters. The simulations aim to show that it is possible to design heaters in a simulation tool, and thus save money for prototypes.

The recommendations from the thesis are to do more research in developing a heater that takes advantage of phase changing materials. It is also recommended to test the heater from England in real conditions, to decide if it can be used for peak shaving applications also in Norway.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	-1-
Sammendrag.....	-2-
Abstract.....	-3-
1 Innledning	- 6 -
2 Bakgrunn.....	- 7 -
2.1 Peak shaving.....	- 7 -
2.1.1 Det norske strømforbruket.....	- 7 -
2.1.2 Energieffektivisering.....	- 9 -
2.1.3 Økonomisk begrunnelse for peak shaving.....	- 9 -
2.1.4 Demand-response og metoder for demand-response.....	- 10 -
2.2 Metoder for peak shaving.....	- 10 -
2.2.1 Lagring av elektrisk energi for konvertering tilbake til elektrisk energi.....	- 10 -
2.2.2 Lagring av elektrisk energi som termisk energi.....	- 12 -
2.3 Potensiale for peak shaving ved å bruke oppvarmingssystemer.	- 13 -
2.4 Oppvarming av boliger.....	- 14 -
2.4.1 Introduksjon til romoppvarming.....	- 14 -
2.4.2 Ulike oppvarmingskilder benyttet i dag.....	- 14 -
3 Materialer og metoder.....	- 17 -
3.1 Testing av ovner.....	- 17 -
3.1.1 Forsøksrommet	- 17 -
3.1.2 Temperaturmålerne	- 20 -
3.1.3 Loggesystemet	- 21 -
3.1.4 Avbildning med infrarødt kamera.....	- 22 -
3.1.5 Ovnenes spesifikasjoner.....	- 22 -
3.1.6 Termiske masse brukt i forsøket.....	- 25 -
3.2 Fremgangsmåte ved test av ovner	- 26 -
3.3 Analyse av ovnene.....	- 28 -
3.4 Simulering	- 31 -
4 Resultater	- 34 -
4.1 Tester av ovnene i forsøksrommet.....	- 34 -
4.1.1 Gulvovn.....	- 34 -
4.1.2 Oljefylt radiator:.....	- 37 -
4.1.3 Panelovn med glassflate.....	- 42 -
4.1.4 Dimplex Quantum QM-100	- 47 -

4.2	Sammenstilling av resultatene fra forsøket på SKP	- 53 -
4.3	Sammenligning av ovnene ved bruk av infrarødt kamera	- 55 -
4.4	Økonomisk analyse av Dimplex Quantum QM-100.....	- 58 -
4.5	Resultater fra simuleringen.....	- 61 -
5	Diskusjon	- 63 -
5.1	Vurdering av forsøkene i forsøksrommet.....	- 63 -
5.1.1	Vurdering av utstyret brukt i oppgaven.	- 63 -
5.1.2	Vurdering av fremgangsmåten for forsøkene.....	- 65 -
5.2	Vurdering av forsøk på Hvaler	- 66 -
5.3	Vurdering av de de termiske massene brukt i forsøket	- 67 -
5.4	Vurdering av simuleringene og forslag til videre arbeid.	- 68 -
5.4.1	Vurdering av det simulerte oppvarmingsforløpet.....	- 68 -
5.4.2	Vurdering av det simulerte nedkjølingsforløpet	- 69 -
5.4.3	Forslag til videre simuleringsarbeid	- 69 -
5.5	Muligheter for peak shaving.....	- 70 -
5.5.1	Ovnstype nr.1: Gulvovnen.	- 70 -
5.5.2	Ovnstype nr. 2: Oljefylt radiator.....	- 71 -
5.5.3	Ovnstype nr. 3 Panelovn med glassoverflate	- 72 -
5.5.4	Ovnstype nr.4 Ovn med varmelager Dimplex Quantum QM-100.	- 72 -
5.5.5	Sammenligning med andre løsninger for peak shaving.....	- 73 -
6	Konklusjon og videre anbefalinger.....	- 75 -
	Referanser:	- 76 -
	Vedlegg.....	-87-
	Vedlegg A: Plot av kurver for kalibrering og datasettet fra kalibreringen av termistorene...-87-	
	Vedlegg B: Figurer som viser oppbygningen av logge-programmet i LabView.....-89-	
	Vedlegg C: Betongresept for betongblokken brukt i forsøket.....-92-	
	Vedlegg D: Resultater fra forsøket på Hvaler.....-93-	

1 Innledning

Det norske strømmettet har behov for store oppgraderinger [1]. Mesteparten av infrastrukturen i strømmettet i dag er fra 1960-70-tallet og forventet levetid er allerede nådd for store deler av sentralnettet, motorveien i strømmettet vårt [2]. Samtidig er det også behov for å oppgradere distribusjonsnettet, som frakter strømmen helt frem og inn i norske hjem.

Behov for oppgradering av distribusjonsnettet skyldes i stor grad endret forbruk av strøm. Fra å bruke mye strøm, fra apparater som krever lav effekt, har forbruket blitt mer energieffektivitet, men med høyere behov for effekt [3]. Det gjør at det har oppstått toppen i effektforbruket på tider av døgnet når det er mest aktivitet i norske hjem, typisk før og etter jobb. Disse toppene skaper problemer for strømmettet ved at strømmettet må dimensjoneres for å takle toppene. Dermed står mye av kapasiteten ubrukt gjennom store deler av året [1].

Det finnes heldigvis metoder for å utnytte mer av kapasiteten i strømmettet. Disse metodene kalles for metoder for peak shaving [4]. Da flytter en deler av det effektkrevende forbruket til andre tider på døgnet, der effektforbruket ikke er like høyt. Det fører til en utjevning av toppene.

Det finnes løsninger for peak shaving som baserer seg på storskala lagring av energi i for eksempel vannmagasiner [5]. Slike løsninger brukes oftest for å utjevne ujevn kraftproduksjon fra uregulerbare fornybare energikilder som for eksempel vindkraft [5]. Det finnes også småskala løsninger i form av batteriløsninger for hjemmet. Småskala løsninger kan brukes til å lagre energien som blir produsert i eget solcelleanlegg, eller for å lagre energi når strømmen er billig, og bruke den når den er dyrere [6].

I Norge er mesteparten av strømforbruket i boliger knyttet opp til oppvarming [7]. 73 % av dette er elektrisk oppvarming ifølge SSB [8]. Det betyr at det er et veldig stort potensiale for å gjøre noe med forbruket av strøm ved å se på løsninger for oppvarmingssystemer.

I denne oppgaven har derfor fokus vært å undersøke mulige løsninger for peak shaving, ved bruk av oppvarmingssystemer. Det har blitt gjort ved å teste fire forskjellige ovners egenskaper i et forsøksrom, der temperaturkurver for oppvarming og nedkjøling er blitt logget over tid. Tre av ovnene finnes allerede i norske hjem i dag, den siste ovnen er spesialimportert fra England [9]. Ovnene har så blitt undersøkt ved å ta bilde av ovnene under oppvarmingsforløpet med et infrarødt kamera. For en av ovnene, en gulvovn fra Mill, er oppvarmings- og nedkjølingsforløpet også blitt simulert i SolidWorks Flow Simulation [10].

Disse testene har blitt utført for å undersøke om ovnene har potensiale for å kunne bidra med peak shaving i Norge. Har ovnene et potensiale for peak shaving, så er det mulig å spare store investeringskostnader for nettselskapene [1]. Hvordan ovnene presterer og, hvilke videre anbefalinger som følger fra oppgaven, blir tatt opp videre i oppgaven.

2 Bakgrunn.

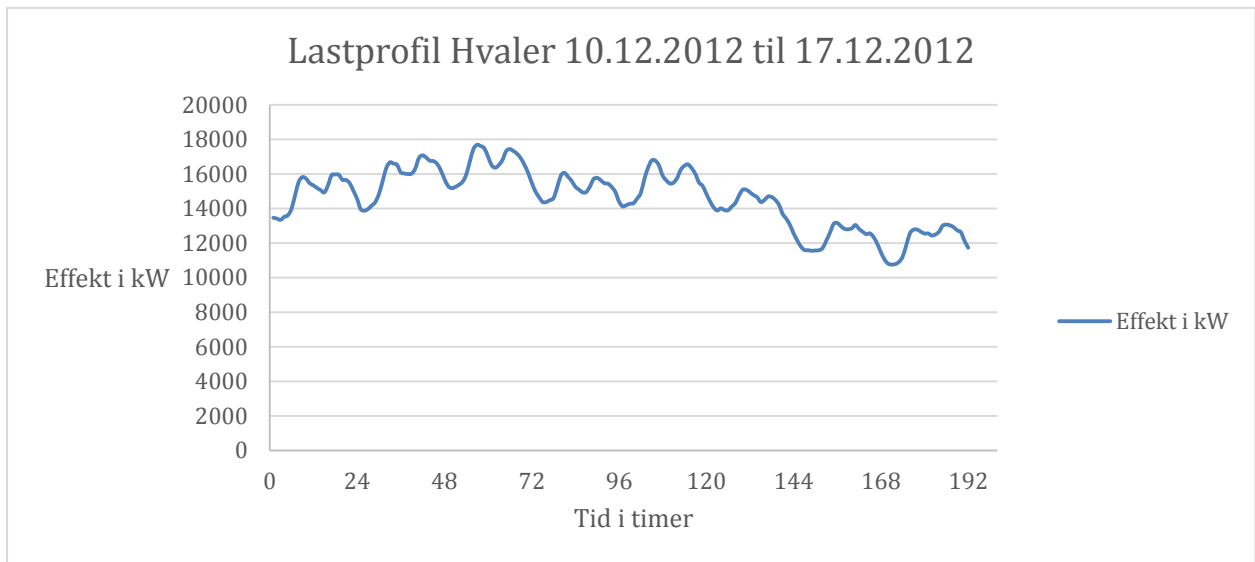
I dette kapitlet introduseres konseptet peak-shaving, og metoder for peak shaving presenteres. Videre presenteres viktige hensyn å ta når det gjelder oppvarming av rom. Det vil bli gitt en over viktige løsninger for oppvarming som er tilgjengelig i dag. Definisjonen på komfort-temperatur i rom som brukes i denne oppgaven, vil blant annet bli dekket i denne delen

2.1 Peak shaving.

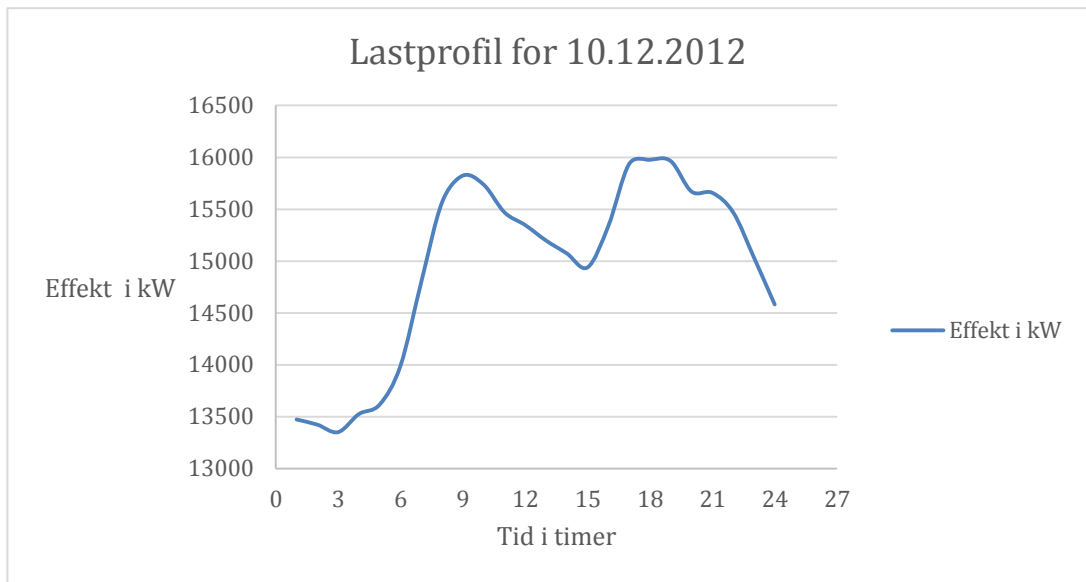
Peak shaving innebærer at en flytter deler av effekt-forbruket fra timer på døgnet med spesielt høyt forbruk, topper eller peaks i forbruket, til timer i døgnet med mindre forbruk [4]. Det kan også relateres til å flytte forbruket til timer på døgnet hvor strømprisen er lavere [4]. Det er flere grunner til at peak shaving er viktig, og det vil bli beskrevet videre i de følgende underkapitlene.

2.1.1 Det norske strømforbruket.

Toppene i strømforbruket har kommet som en følge av at det norske strømforbruket følger et relativt fast forbruksmønster [7]. Strømforbruket, og da spesielt forbruk av produkter med høy elektrisk effekt, øker i seks-tiden på morgenen. Da begynner størstedelen av Norges befolkning å gjøre seg klar til å gå på jobb og skole. Utover morgenen fra klokken seks står stadig flere opp og gjør seg klar til å gå på jobb, slik at det blir en rask utvikling i forbruk av effekt. Deretter skrur flesteparten av de effektkrevende apparatene av, og forbruket synker. Det oppstår en bunn i forbruket. Denne varer gjerne fra ca. 12 til 16.00. Deretter oppstår det en ny topp som følge av at befolkningen kommer hjem fra jobb og skole, og må lage middag, setter på oppvaskmaskiner, vaskemaskin osv. Denne toppen varer gjerne til 22.00 og noen ganger enda lengre, før forbruket igjen synker og vi får en bunn på natten. Dette gjør at vi får en klar fordeling av forbruket i løpet av døgnet med tydelige topper og bunner. Last-profiler fra Hvaler illustrer dette poenget i figur 1 og 2.



Figur 1. Lastprofil for tilfeldig valgt vinteruke på Hvaler. I dette tilfellet uke 50. [Data fra Bernt Arild Bremdal ved NCE Smart Energy Markets].



Figur 2: Viser døgnprofil for Hvaler 10.12.2012. [Data fra Bernt Arild Bremdal ved NCE Smart Energy Markets].

Toppene i strømforbruket fører til at nettet må bygges ut for å tåle de periodene med høyest forbruk av effekt [1]. Klarer en å flytte effektforbruket bort fra toppene og få et jevnere forbruk av effekt. Det vil igjen kunne føre til at det er mulig å utsette investeringer i oppgradering av nettet. [1].

Nettet er i Norge spesielt sentralnettet er flere steder modent for oppgradering. Det er behov for en massiv oppgradering av sentral-nettet [2]. Distribusjonsnettet er også flere steder modent for oppgradering [1].

2.1.2 Energieffektivisering

Det har vært et økt fokus på energieffektivisering i Norge [8]. Det energi-effektivisering gjør er å redusere strømforbruket, men ikke nødvendigvis effekten som apparatene bruker. Ofte oppnår en energieffektivisering ved å øke effekten som apparatene bruker, samtidig som en minker tiden apparatet trenger å stå på for å utføre samme oppgave. Det er en faktor som delvis forklarer hvorfor toppene i effektforbruket har blitt større [3]. I tillegg har en økning i antall apparater som trekker høy effekt økt raskere enn utbygningen av nettet. Et eksempel på det er el-bilene, som i dag er blant de mest solgte ny-bilene på markedet [11]. En el-bil kan potensielt trekke 50 kW eller mer om den kobles til hurtiglader [12]. Ved å bruke laderen hjemme trekker el-bilene ca. 2,3 kW [12], som fortsatt er høy effekt. En annen trend som har skapt økt effekt-behov er induksjonsovner. Induksjonsovner trekker gjerne så mye som 7 kW [13]. Andre apparater som trekker mye effekt er varmtvannsbereder, oppvaskmaskin, vaskemaskin, og flere kjøper i tillegg gjennomstrømningsoppvarming av vannet, som trekker store mengder effekt [3]. Om effektforbruket er høyere enn hva nettet er bygget ut for å tåle, så vil det i første omgang kunne gå ut over spenningskvaliteten og frekvenskvaliteten til den leverte elektriske kraften. I ytterste konsekvens vil det føre til kortslutning [14]. Derfor er det lovfestet at det til enhver tid skal være sikker levering av strøm i Norge [14]. Dette er med på å illustrere viktigheten av å innføre tiltak som for eksempel peak shaving for å sikre sikker og stabil leveranse av strøm.

2.1.3 Økonomisk begrunnelse for peak shaving.

Toppene i forbruket utgjør først og fremst et problem fordi de skaper en situasjon med mye ubrukt kapasitet i nettet. Om toppene i tillegg vokser, vil det bli nødvendig med kostbare oppdateringer i nettet, som kunne vært unngått ved å utnytte den eksisterende kapasiteten som finnes i nettet.

Oppgradering av strømmettet for å takle større topper er veldig dyrt, og NVE anslår et investeringsbehov på 28,5 milliarder NOK bare i det høyspente distribusjonsnettet [15]. Det utgjør så store kostnader for nettselskapene at det vil påvirke den jevne forbrukers strømgning i form av nettleien [16]. Det er derfor ønskelig å slippe å bygge ut mer infrastruktur både for nettselskapene og forbrukeren. Det vil begge parter spare penger på. Utbygging av ny infrastruktur er også tidkrevende. All ekstra utbygging må godkjennes av NVE, fordi det er viktig at det ikke blir gitt konsesjon til utbygging i områder med sårbar natur. Et eksempel på konsesjonsprosessen for nettutbygging fra Lyse Elnett finnes her [17].

Inn under økonomisk begrunnelse for peak shaving kommer også økt utveksling mot Europa, med flere nye utenlandskabler under planlegging [2]. Det er nødvendig med sikker nettdrift i Norge, for å kunne sikre sikker forsyning til utlandet. Ved å selge balansekraft til Europa, er det mulig å utnytte høyere strømpriser på kontinentet. Det ligger et betydelig potensiale for økonomisk vinning i utenlandskabler. En styrkning av distribusjonsnettet ved å innføre løsninger for peak shaving, er en potensielt viktig del av denne prosessen,

da hele nettet henger sammen. En styrking av sentral-nettet er likevel det viktigste tiltaket som må gjøres for å realisere flere utenlandskabler. I første omgang til Tyskland 2018, og England 2020 [5].

2.1.4 Demand-response og metoder for demand-response.

Demand-response er fellesbetegnelsen på flere ulike tiltak for å gjennomføre peak shaving. Et alternativ er differensiert prising gjennom døgnet. Det vil da være høyere strømpriser i periodene med topplast, og lavere strømpriser i perioder med lavt forbruk [18]. Andre alternativer inkluderer å tilby styring av effekt-krevende elektronikk i hjemmet til forbrukeren via de automatiske måle og styringssystemene (AMS), som er installert i hjemmet. Et styringssystem vil da innebære et økonomisk incentiv for forbrukeren [18]. Oppsummert så kan en si at demand-response er tiltak der forbrukeren involveres for å flytte laster på nettet. De økonomiske incentivene vil styres slik at en får optimalisert drift av nettet for nett-selskapet. For forbrukeren vil det bety en mindre strømgning [18].

2.2 Metoder for peak shaving.

Felles for alle løsninger for peak shaving er lagring av energi. Ved å lagre energi i perioder med lavt forbruk av strøm, og utnytte denne energien i perioder med høyt forbruk av strøm, er det mulig å flytte effektforbruket. Det kan gjøres ved lagring av termisk energi eller elektrisk energi.

2.2.1 Lagring av elektrisk energi for konvertering tilbake til elektrisk energi.

Det finnes flere ulike måter å lagre elektrisk energi på, som muliggjør en konvertering tilbake til elektrisk energi. En oversikt over de mest vanlige metodene, og noen metoder under utvikling blir presentert i denne delen.

Batterilagringsystemer (BESS Battery Energy Storage Systems):

Batterilagringsystemer kommer i store og små løsninger. De kommer i løsninger tilpasset for peak shaving på nettnivå, og i løsninger tilpasset lagring av den energien en trenger i hjemmet. Langt flere løsninger enn de som listes opp her er tilgjengelig. Fordelen med batterisystemer er at de er relativt rimelige sammenlignet med andre løsninger med priser rundt 200-500 €/ kWh lagerkapasitet [19]. De er skalerbare, og energien som lagres kjemisk kan konverteres tilbake til elektrisk energi ved høy virkningsgrad. Ofte i området 80 % virkningsgrad. De kan også bidra med stabilitet inn i nettet ved å være reserveløsninger for kunder som er avhengig av å aldri miste strømmen. Slike kunder kan være sykehus, server-banker, aksjemarked med flere. De kan også bidra til å minske avhengigheten av å være tilkoblet et sentralt nett, ved å støtte opp om produksjon av fornybar energi fra solceller, og vindkraft [19].

Ulemper med batteri-systemer er at de krever investering i ekstra utstyr for å kunne fungere sammen med strømmettet. Strømmettet er i all hovedsak drevet med vekselstrøm AC, batterier lagrer energien som likestrøm DC. Derfor er det nødvendig med en omformer som kan gjøre om AC-strøm til DC-strøm og motsatt. Det er nødvendig med gode omformere, hvis ikke kan disse bidra til ustabilitet på nettet [20]. Batterier utgjør også en miljøpåvirkning under både produksjon og avvikling [21]. Levetiden er også gjerne kort, med forventet levetid på 4-5 år for de fleste type løsninger, men det jobbes med å utnytte gjenbrukte el-bil-batterier. Da kan levetiden bli betraktelig lengre. Det foregår tester for å finne ut hvor mye levetiden kan økes [22].

Et eksempel på storskala lagring av energi tilpasset nettapplikasjoner fra ABB er gitt i [23], disse må spesialbestilles fra ABB, og vil være tilpasset nettet løsningen skal brukes i.

En norsk tilnærming til problemstillingen er presentert av en gruppe fra NTNU i faget Eksperter i Team. Der nevnes muligheten for å bruke brukte batterier fra Nissan Leaf [24]. Gruppen kommer frem til at selv om dollarkursen er lavere enn den er i dag, og at prisene på batteri er lavere enn i dag, så vil en løsning beregnet på 10 husstander koste 156210 NOK. Den gir en effekt på 9,9 kW fordelt på alle husene og en lagringskapasitet på 57,6 kWh. Tesla Motors har også utviklet et nytt batteri for salg til privatpersoner kalt Powerwall. Den rimelige versjonen uten inkludert omformer koster \$3000 og tilbyr 3,3 kW makseffekt, og 7 kWh lagring [6].

Svinghjul lagringssystemer:

Energi kan også lagres ved hjelp av svinghjul. Disse kan lagre elektrisk energi som kinetisk energi, som kan tas ut igjen som elektrisk energi når det er behov for det. Det gjøres ved at en elektrisk motor øker farten på hjulet når en ønsker å lagre energi. Når en ønsker å hente ut energien, bremses motoren opp hjulet og fungerer som en generator [25]. Svinghjul er gjerne mer plasseffektive enn batterilagringsystemer. En annen fordel med svinghjul kontra batterisystemer, er at de er langt mer miljøvennlige og holdbare [26]. De er skalerbare, og kan kobles i parallell. Det kreves mange svinghjul for å få høy nok effekt til å kunne ta toppene som oppstår på ettermiddagen og morgenen. De fleste typene vil heller ikke være i stand til å holde effekten oppe over lang tid, fordi de ikke kan lagre mye energi. De er derfor en løsning som først og fremst brukes til stabilisering av nettet ved store effektutslag over kort tid [26]. De eksisterende løsningene er også meget dyre med en kostnad rundt \$3 millioner pr MWh [26]. Det jobbes med en løsning som forsøker å gjøre svinghjul-løsningene billigere kalt Velkess Flywheel [27]. Målsettingen er å produsere svinghjul som kan gi fra seg energi over flere timer med lavere effekt. Kostnaden her er tenkt å være \$300.000 pr MWh. Med valutakurser for 20.04.2015 tilsvarer det ca. 2,35 millioner NOK pr. MWh. Velkess løsningen vil koste ca. 59000 NOK for 3 kW effekt og 15 kWh lager [27].

Trykkluft:

Det finnes også andre løsninger for storskala-lagring av energi. Disse inkluderer lagring ved omforming av elektrisk energi til trykkluft. Lagring av energi som trykkluft er per i dag både lite effektivt, og tar utgangspunkt i gasskraft-verk slik at det er langt fra CO₂-nøytralt. Fordelen er at det kan lagres mye energi i hver enhet [28]. Det forskes på hvordan en kan øke effektiviteten [28]. Dette er snakk om lagring av store mengder energi på linje med pumpekraftverk, og krever gjerne de rette geologiske formasjonene for å være lønnsomme [28]. Det finnes også andre alternativer under utvikling som potensielt kan få større betydning når løsningene er ferdige for markedet. Disse er SustainX sin løsning med rør som fylles med luft og kan tilpasses ønsket lagerkapasitet [29], og LighthSail Energy som tar sikte på å utvikle en løsning som utnytter mer av varme-energien som oppstår ved kompresjon av luft [30].

Hydrogen:

Lagring av elektrisk energi ved at man omdanner elektrisk energi til hydrogen gjennom elektrolyse, har noen av de samme problemene som trykkluft. Da først og fremst energieffektiviteten til prosessen. Man blir først nødt til å omforme elektrisk energi til hydrogen, for deretter å bruke en brenselcelle til å få tilbake energi fra hydrogenet [31]. Hydrogen har flere bruksområder enn bare som energilager [31]. Til bruk som energilager er det foreløpig mye forskning som gjenstår, før hydrogen vil kunne være et like godt alternativ som allerede eksisterende løsninger. utfordringer med lav effektivitet, og høy oppstartskostnad gjør at hydrogen er blant de dårligste løsningene for peak shaving per i dag. Prisen ser nå ut til å ville ligge på 2500-6000 € /kW, med en levetid på ca. 10 år [31]. Det er muligheten til å lagre store mengder energi over et relativt lite område, som gjør at hydrogen er tatt med i vurderingen. Hydrogen vil derfor kunne ta lengre topper enn de andre løsningene innenfor et liknende areal [31].

2.2.2 Lagring av elektrisk energi som termisk energi

Termisk lagring er også viktig. Det kan også gjøres på flere måter, både lagring av ved å utnytte termiske masser med høy temperatur, og termiske masser med lav temperatur. Termiske masser med høy temperatur kan brukes til å produsere strøm [32], masser med lav temperatur brukes gjerne for å øke effektiviteten til varmekilder [33].

Termisk lagring ved høy temperatur:

Det forskes fortsatt på området og en av de mest spennende metodene er ved å bruke store varmpumper med to varmelager, et kaldt reservoar, og et varmt reservoar. Disse systemene kan være veldig energieffektive, men kan gjerne ikke stille så veldig høy effekt til rådighet med 2-5 MW [32]. Det kan allikevel være nok til å bidra med balanse til nettet. Dette er også en dyr løsning, men også her foregår det forskning for å øke lønnsomheten. Et av selskapene som driver forskning på området er Isentropic, de håper å tilby en løsning til \$140/kWh [34].

Termisk lagring ved lav temperatur:

Termisk lagring ved lave temperaturer inkluderer blant annet lagring av energi i varmtvannstanken, eller i termiske masser en velger å bruke i bygningsmassen, og fjernvarme m.m. Dette er mer aktuelt for norske forhold, enn lagring av energi i termiske masser med høy temperatur. Det er gjort mange forsøk på hvordan en kan spare strøm ved ulike tilpasninger av bygningsmassen [35]. Det er også gjort forsøk med bedre klimastyring kalt HVAC-systemer [36]. Det er allikevel gjort lite forskning på hvordan man kan utnytte termiske masser til å kutte spisslast. I Norge er det gjort forsøk på kutting av spisslast ved å koble ut effekten til varmtvannstanker i Malvik, som er et pilotprosjekt utført i forbindelse med et større forskningsprosjekt kalt ”Markedsbasert Forbrukstilpasning” [37]. Videre har DeVid-prosjektet på Hvaler sett på muligheten for å kutte spisslast ved smart styring av varme og lys i bygningsmassen til hytter i delprosjektet HYTTEFLEX [38].

Andre løsninger som kan benyttes for å kutte i spisslast ved lave temperaturer er utviklet i Europa. En av dem er ovnen som vil studeres i denne masteroppgaven Dimplex Quantum QM-100 som inngår i en serie av produkter som kan lagre energi i perioder med lavt forbruk, og utnytte varmen i perioder med høyt forbruk [9]. Det er også planer om å lage varmpumper med et varmelager på ca. 1 m³ med vann. Da kan dette lageret varmes opp utenfor topplast-perioden, og benyttes når forbruket igjen er lavt [39].

2.3 Potensiale for peak shaving ved å bruke oppvarmingssystemer.

Oppvarmingssystemer er i denne oppgaven definert som et system av varmekilder til oppvaring av boliger. Det kan være vedovner, panelovner, varmpumper, med mer, der en har kontroll på hvordan disse oppvarmingskildene driftes. Potensialet for peak shaving er bestemt av hvor mye av oppvarmingen som kan flyttes bort fra perioder med topplast.

Romoppvarming står for 60 % av elektrisitetsforbruket i norske hjem på vinteren [7]. Det betyr at mesteparten av effekten også går med til oppvarming. Det er med andre ord oppvarming som har det største potensiale for å spare inn på effektforbruket i boliger. Det kan spares inn mye effekt ved å gjøre enkle grep som å bytte ut gamle ovner med mer energieffektive nyere ovner. Ved å bytte ut gamle ovner som bruker mye effekt med ovner som bruker mindre effekt, kan en redusere toppene, men ikke fjerne dem. Et spennende alternativet vil være en løsning som både fjerner toppene, og som er energieffektiv.

2.4 Oppvarming av boliger.

Alle løsninger som skal løse problemet med peak shaving ved hjelp av oppvarmingssystemer må først og fremst ta hensyn til at oppvarming av boligen skjer på en tilfredsstillende måte. For å gjøre dette må ovnene som brukes være i stand til å holde den ønskede temperaturen hjemme hos forbrukeren, selv når effekten kuttes eller reduseres.

2.4.1 Introduksjon til romoppvarming

Hvor lett en bolig vil bli varmet opp styres først og fremst av boligens egenskaper. Den viktigste egenskapen er boligens evne til å holde på varmen. Det avhenger først og fremst av type og tykkelse på isolasjonen som er valgt [40]. I tillegg spiller andre materialer som boligen er bygget opp av inn. Er boligen for eksempel av betong, vil betong kunne fungere som et termisk lager, og lettere bidra til peak shaving [41]. I tillegg spiller plassering av bygningen inn, og om det er utnyttet solinnstråling fra sør-vendte fasader eller ei [35].

Den viktigste parameteren for å kunne sammenligne løsninger for oppvarming mot hverandre er deres evne til å opprettholde komfort-temperatur. Komfort-temperatur er igjen avhengig av flere faktorer. En oversikt over de viktigste faktorene finnes på Folkehelseinstituttet sine nettsider, der de viktigste er temperatur, luftfuktighet, og trekk [42]. Det letteste å gjøre noe med er temperaturen. Hvilken temperatur som oppleves som mest komfortabel vil være individuell, derfor er et intervall på 22 ± 2 °C valgt som utgangspunkt. Temperaturer over 24 °C føret til tretthet, og konsentrasjonsvansker. Temperaturer under 20 °C, vil kunne føre til at rommet oppleves for kaldt [42].

2.4.2 Ulike oppvarmingskilder benyttet i dag.

Det finnes flere ulike måter å varme opp boligen på, og det er normalt å kombinere flere av dem. Her vil det bli gitt en introduksjon til de viktigste oppvarmingskildene i Norge, og fordeler og ulemper med dem.

Vannbåren gulvvarme:

Gulvvarme vil varme opp hele rommet, og utnytter transport av varme ved hjelp av konveksjon på en god måte. Gulvvarme er vanligvis knyttet til vannbåren varme. Det er en treg kilde til oppvarming, som holder varmen jevnt over døgnet. Vannbåren gulvvarme kan også potensielt koble ut effekt-forbruket over korte tidsrom, og dermed bidra til peak shaving. Gulvvarme bidrar ikke til brent støv, og er heller ikke brannfarlig. Om en ønsker å sette seg mer inn i vannbåren er det en god oversikt over fordeler med vannbåren varme fra BYGGFORSK [43]

Ulempene med gulvvarme skyldes samme årsak som fordelene. Det at vannet utgjør en treg last gjør at det er en lite fleksibel varmekilde. I hjem med sørvendte vinduer, vil det fort oppstå problemer med for høy varme i

rommet når solen varmer opp gulvet gjennom vinduene. Gulvvarme er også et dyrt alternativ til oppvarming, her [44] med et pris-eksempel på 800 NOK/m².

Varmepumper:

Varmepumper kommer i forskjellige varianter, deriblant luft-til-luft, luft-til-vann, vann-til-vann, bergvarmepumper med flere [45]. Felles for alle er at de utnytter temperaturforskjeller mellom arbeidsvæsken i pumpen, innendørstemperatur, og en varmekilde utenfor hjemmet. Dette gjør dem i stand til å produsere mer varme-energi enn de trekker av elektrisk energi. Det er mulig å få investeringsstøtte fra Enova til kjøp av varmepumper [46].

En fordel for varmepumper er at de gir mer energi som varme, enn den elektriske energien som benyttes for å skape denne varmen. De kan også fungere som luftkondisjonering på sommeren. Det fører til at ikke alle sparer like mye strøm på å gå til innkjøp av en varmepumpe, fordi den strømmen som spares på vinteren, brukes på sommeren [8].

En ulempe med varmepumper er at de er punktkilder til oppvarming. De vil gi jevn varme i det området der varmekilden fra pumpen er plassert, men vil vanligvis ikke være i stand til å varme opp hele huset. Det gjør at det vil være behov for ekstra oppvarming, selv om man har investert i en varmepumpe. I tillegg presterer varmepumper dårligst på de kaldeste dagene i året, som øker behovet for ekstra varmekilder [47]. Selv med støtte fra Enova, er varmepumper også et dyrt alternativ dersom man velger å benytte seg av kjølemulighetene på sommeren. Da vil fordelene ved at man bruker mindre strøm på vinteren reduseres, ved at strømforbruket øker på sommeren. En god varmepumpe koster mellom 20.000 til 30.000 NOK [48]. De er også avhengige av et eksternt lager for å kunne fungere til peak shaving. Det selges ikke varmepumper som vil kunne utføre peak shaving i Norge i dag.

Vedovn:

Vedovner kommer også i mange forskjellige varianter. Felles for alle er at de ikke bruker strøm for å holde varmen i rommet. Alle bruker ved som er biobrensel, og alle vedovner vil derfor bidra med å redusere høyden på effekt-toppene. De vil ikke flytte effekt bort fra toppene. Vedovner vil kunne bidra med oppvarming selv ved strømbrytning. Vedovner er som varmepumpene punktkilder til oppvarming og vil derfor gi mest varme i boliger med åpen løsning. De ulike variantene av vedovner som er mest vanlige er støpejernsovner [49]. Disse krever fyring gjennom døgnet om en ønsker å opprettholde varmen. Det finnes også ovner som holder på varmen ved å utnytte termiske masser i pipen, eller ved at ovnen er en del av pipen. Disse krever ikke at man fyrer like ofte. Kleberstensovner [50], og ovnen fra Varmepipa AS [51] med pipe av olivin-elementer er eksempler på ovner som holder bra på varmen. Varmepipa AS hevder at deres ovner kan holde varmen i 15 timer etter 3 timers fyring.

Vedovner har noen ulemper. Kleberstensovnene [50], og løsningen fra Varmepipa AS [51], er dyre løsninger. De krever også ekstra oppvarming i de rommene, der varmen fra ovnen ikke kommer til. I nye passivhus, er isolasjonen så tett at ovnene ikke får tilført nok luft til at klarer å brenne effektivt [52]. De kan heller ikke plasseres i leiligheter, og er ofte tunge. Dette er dermed en løsning, som er mest aktuell for større boliger, som ikke holder passivhus-standard.

Panelovner og oljefylte radiatorer:

Panelovner og oljefylte radiatorer er de vanligste kildene til oppvarming i Norge [8]. Det er flere grunner til det. De er meget plasseringsvennlige, og kan varme opp rommet jevnt. De er rimelige. De kan brukes til å aktivt forhindre kaldras ved å plassere dem under vinduer. Kaldras er kald luft som synker når den treffer kalde overflater som for eksempel vinduer [53]. De er veldig lett å tildele en oppvarmingssone, om man ønsker smart styring av oppvarmingen med sone-regulering. Det finnes typer som kan plasseres i våtrom. De er også fleksible, og vil ikke bli like påvirket av ekstra varme ved solinnstråling på våren, og høsten. I tillegg finnes det et sett nytiklede panelovner med varmelager, som kan brukes til peak shaving [9].

Ulemper er at ovnene ofte ikke er spesielt energi-effektive. De vil ikke klare å bidra med mer varme enn strømmen de trekker. De kan være brannfarlige, og kan derfor ikke plasseres fritt i rommet. Panelovner bidrar gjerne til mer brent støv, som gir tørr luft. De er derfor ikke anbefalt av Norges Astma, og allergiforbund [54]

3 Materialer og metoder

Denne oppgaven har krevd en egenutviklet metode for ovnene som er testet. Det er gjort for å kunne analysere ovnenes egenskaper med tanke på potensiale for peak shaving. Hvilken metode som er brukt og hvilket utstyr som er brukt blir gjennomgått nærmere i de følgende delene.

3.1 Testing av ovner

Fire ovner med ulike spesifikasjoner ble testet med tanke på deres evne til å styre temperaturen i et forsøksrom. Forsøksrommet, temperaturloggingssystemet, de tekniske spesifikasjonene til ovnene, og de termiske massene brukt i forsøkene, beskrives i de følgende delkapitlene.

3.1.1 Forsøksrommet

Et krav til forsøkene er at de skal kunne være mest mulig reproducerbare. Følgende krav ble derfor stilt til forsøksrommet.

Krav til rommet

- Rommet må ikke påvirkes av ytre temperaturforhold.
- Rommet må være tomt, for å unngå termisk påvirkning fra gjenstandene i rommet.
- Kontroll på hvem som har tilgang til rommet, slik at uvedkommende ikke kan forstyrre forsøket.
- Rommet må være stort nok til å få satt opp det nødvendige utstyret.
- Det må være mulig å styre forsøket fra utsiden av rommet, for å unngå forstyrrelser i forsøket.

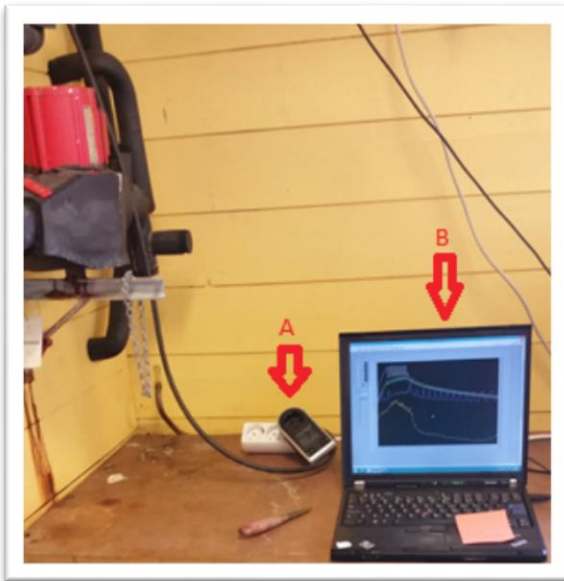
Beskrivelse av rommet

Rommet som er benyttet ligger i fruktlageret til SKP (Senter for Klimaregulert Planteforskning) ved NMBU. Det ligger i kjelleren til bygningen med en yttervegg mot vest, og en yttervegg mot syd, og to innervegger. En innervegg er vendt mot et tilsvarende forsøksrom mot øst, den andre innerveggen er vendt mot resten av kjelleren. Ytterveggen mot syd vender mot et jordlag.

Rommet leies ut av SKP, og kalles forsøksrom nr. 9. Det er brukt til forsøk med CA (Controlled Atmosphere). CA-forsøk er forsøk der det kreves full kontroll på alt fra temperatur til gassinnhold i rommet. Det har blitt gjort på SKP for å finne metoder for langvarig lagring av frisk frukt. Rommet er beregnet for å kunne kjøre forsøk med +50 °C, og minusgrader i naborommet uten at forsøkene skal påvirke hverandre, (personlig samtale med Lars Morten Opseth, Overingeniør ved SKP).

Rommets størrelse er 16,9 m³ med en grunnflate på 6,6 m². Høyden på rommet er 2,55 m, bredden er 2,45 m og lengden er 2,7 m Tykkelsen på veggene er ikke kjent. Det er mulig å styre forsøket fra utsiden via

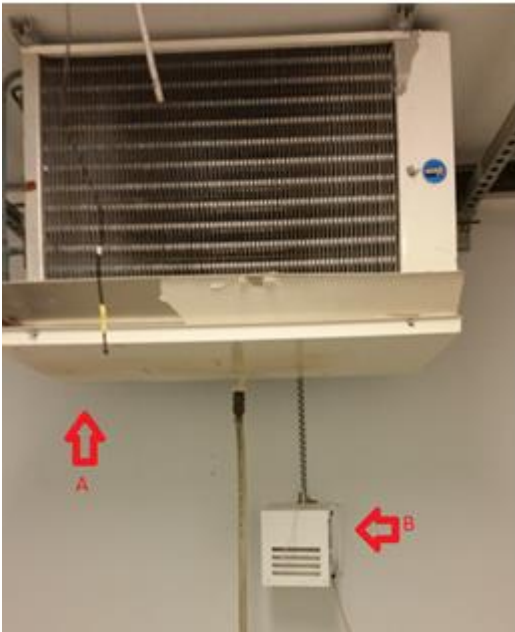
loggesystemet (figur 3). Det er også streng regulering av hvem som har tilgang til rommet, det kreves adgangskort, og hver dør har et skjema med informasjon om hva rommet benyttes til (figur 4). Det er et nesten tomt rom. Det inneholder en avtrekksvifte, ett termometer med kombinert måling av luftfuktighet og temperatur (figur 5), to metallstenger for å holde lamper, og et isolert rør som frakter varmt vann se figur 6. Avtrekksviften er skrudd av for å sikre at den ikke påvirker forsøket. Det er ikke oppgitt U-verdier eller materialegenskaper for rommet. Det er heller ikke kontroll på hvor mye vann som går gjennom rørene.



Figur 3: Bildet viser B, logge-pc-en utenfor forsøks-rommet. A peker på referanse-energimåleren brukt under forsøket.



Figur 4: Døren til forsøksrommet, med B plakat som viser krav til forsøkene. A viser nøkkelhullet i døren.



Figur 5: Bildet viser A avtrekksviften, som er avslått gjennom forsøket. Fra viften henger temperaturmåleren og luftfuktighetsmåleren B, til SKP.



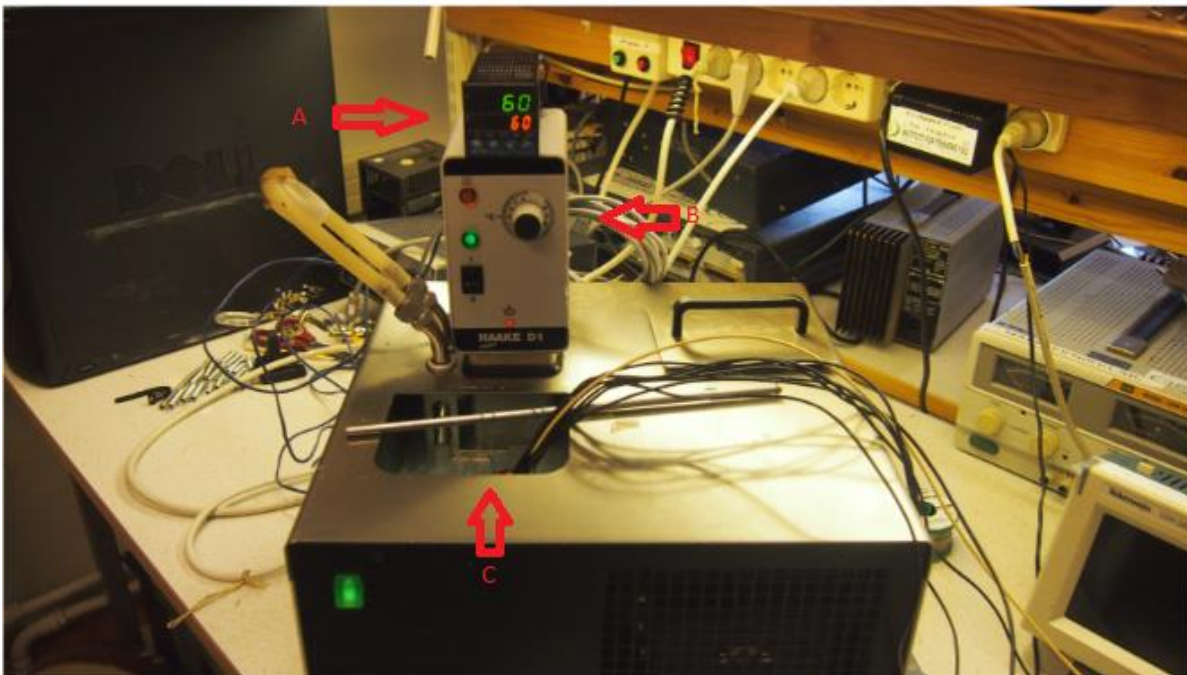
Figur 6: På bildet vises deler av de isolerte vann-rørene som går gjennom rommet.



Figur 7: På bildet ser en ventilen som er tettet med et håndkle A øverst i bildet. B peker på termistoren som måler temperaturen langs veggen i nord. Alle termistorer er festet i samme høyde. C peker på den digitale analoge omformeren. Fra den går en USB-kabel gjennom en USB-forlenger D, og deretter til pc-en.

3.1.2 Temperaturmålerne

Under forsøket ble det brukt 7 termistorer, NTC-perlemotstander på $5k\Omega$, av typen ELFA 60-279-24(Elfa Distrelec AS, Oslo, Norge), med mulighet for å måle av temperatur i temperatur-området -40 til $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termistorene måler i utgangspunktet temperatur med en oppløsning på $\pm 1^{\circ}\text{C}$, men det er mulig å kalibrere dem, slik at de viser verdier innenfor $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Figur 7 viser en av termistorene i rommet. Kalibreringen ble gjort ved å teipe alle temperatursensorene sammen med et referansetermometer av typen Testo 781 (Testo AG, Lenzkirch, Tyskland) med aluminiums-tape. Testo 781 er et eldre instrument, og er derfor kontrollert med et annet referansetermometer av typen Fluke 1523(Fluke Corporation, Everett, WA, USA) til et avvik på 3 hundredels $^{\circ}\text{C}$ fra dette termometeret. Deretter ble termistorene senket i et sirkuleringsbad av typen HAAKE D1/G (PSL Systemtechnik GmbH, Clausthal-Zellerfeld, Tyskland). Temperaturen i vannbadet ble styrt ved hjelp av en PID-regulator, (figur 8). Termistorene registrer spenningsforskjeller som følge av temperaturforskjeller. Denne spenningsforskjellen kan omgjøres til temperatur. Verdier for spenningen i de ulike sensorene ble notert ned for temperaturer bestemt med PID-regulatoren fra $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deretter ble det laget en kalibrerings-kurve for hver av sensorene som ble tilpasset slik at korrelasjonsverdien R^2 , var så nær 1 som mulig (Vedlegg A). Formlene for kalibrerings-kurvene ble deretter ført inn i loggeprogrammet, og sensorene ble på nytt lagt i vannbadet. Når så alle sensorene viste temperaturer med en variasjon innenfor $\pm 0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$, var kalibreringen ferdig.



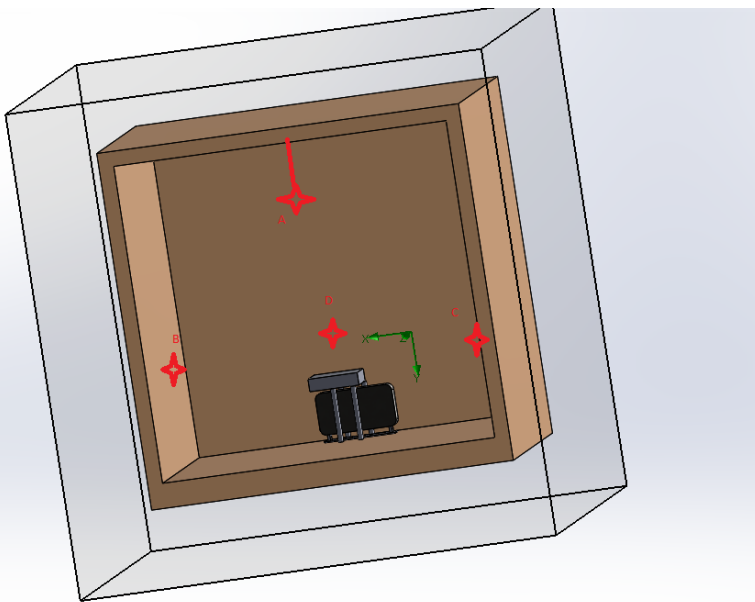
Figur 8: Oppsettet for kalibrering av termistorene. A peker på PID-regulatoren. B peker på HAAKE D1/G. Termistorene og referanse-termometeret C ligger i varmebadet. Vannbadet kan varmes av et varme-element nede i vannet, og kjøles ned av en kompressor.

3.1.3 Loggesystemet

Loggesystemet består av en PC av typen Lenovo T61p (Lenovo Corporation, Beijing, Kina), (figur 3), syv termistorer, en energimåler av typen Enermet SY120E (Landis+Gyr AS, Hvalstad, Norge), og en analog digital converter av typen NI USB-6009 (National Instruments Corporation, Austin, TX, USA). NI DAQ USB-6009 har 8 analoge/digitale inputs med 14-bits oppløsning. For å styre ovnen fra utsiden av forsøksrommet, brukes en 3 m lang USB-kabel koblet til PC-en og den digitale mottakeren. Ledningen til et grenuttak med kontakt på innsiden av rommet, er ført gjennom et hull i veggen. Dette er gjort for å kunne styre effekt-tilførselen til ovnen utenfor forsøksrommet.

Labview v.2014, og NI Max (National Instruments Corporation, Austin, TX, USA) ble installert på PC-en. I Labview er det laget et program som logger temperatur for alle syv termistorer samt, energi og effekt levert til ovnene per minutt. Gjennomsnittstemperatur av vestlig, og østlig vegg, samt temperatur midt i rommet, logges hvert sekund. Dette er definert som komfort-temperaturen under forsøkene. Programmet kjøres sekvensielt. Først registreres komfort-temperatur, og temperaturen for de syv termistorene, deretter registreres energi i kWh, og effekt i kW. Siste sekvens tar gjennomsnittsverdien for siste minutt, av alle verdier utenom komfort-temperatur. Gjennomsnittsverdiene for det siste minuttet skrives til en forhåndsbestemt loggfil. Oversikt over programmet ligger vedlagt i vedlegg B.

Fem termistorer er plassert inne i rommet (figur 9). En henger midt i rommet, resten er festet inntil veggene med gaffateip. En termistor henger utenfor døren til forsøksrommet, for å måle temperaturen i kjelleren. Den siste termistoren er plassert slik at den henger utenfor bygningen. Det gjør det mulig å måle temperatur i hele rommet, samt temperatur utenfor alle veggene.



Figur 9: En skisse av rommet. Der A viser plasseringen til termistoren T-op, B viser T-nord, C viser T-syd, og D viser T-øst. Vegg i vest er tatt bort for å vise de andre veggene. T-vest vil henge i samme høyde som T-øst, på den vestlige vegg.

3.1.4 Avbildning med infrarødt kamera

Et infrarødt kamera av typen FLIR T620bx (FLIR Systems Inc. Oregon, USA), ble benyttet til å registrere strålevarmen som ovnene avga. Kameraet ble satt opp med en emissivitet på 0,9. Avstanden til objektet er satt til 1 meter. Det har en nøyaktighet på $\pm 2^{\circ}\text{C}$, over temperaturintervallet -40°C til 650°C . Kameraet utnytter Stefan-Boltzmanns lov ($\varphi = \varepsilon\sigma T^4$). Det måler stråle-energien avgitt fra objektene det rettes mot, og når emissiviteten ε er satt vil temperaturen lett finnes. Bildene ble tatt av ovnenes overflate, under oppvarming av ovnene. Alle bilder måtte tas med manuell fokus, og som enkeltbilde. Kameraet har mulighet for å ta opp video, og bildeserier. Det krever et stativ, og god avstand til motivet. Rommets dimensjoner lå ikke til rette for å kunne filme, eller ta bildeserier.

Bildene ble tatt med tanke på overflatens emissivitet ε . Derfor er ikke alle bilder tatt med samme vinkel. Bildene er tatt i tilnærmet samme avstand fra ovnene, og inne i forsøksrommet.

3.1.5 Ovnenes spesifikasjoner

Ovnstype nr.1: Gulvovnen Mill SG2000LED (Mill International AS, Østerås, Norge): Gulvovnen (figur 10) er valgt som et eksempel på en vanlig ovn i norske hjem. Ovnen er bygget i stål med fot av aluminium. Oppvarmingen skjer via et trådelement. Ovnenes elektroniske termostat går fra $5-35^{\circ}\text{C}$. Den har tre effektnivåer 750/1250/2000W. Den har en vifte som kan benyttes for å spre varmen mer effektivt. Dens dimensjoner er 62,0x9,5x33,5cm, og den veier 4 kg. Den er tilpasset å varme opp rom i størrelsen $10-50\text{ m}^2$. Ovnen har 2 års garanti. Ovnen er kjøpt på elkjøp for 699 kr [55], [56], [57].



Figur 10: Gulvovn uten termisk masse, plassert midt i rommet.

Ovnstype nr. 2 Oljefylt radiator DeLonghi HOR KH770920CB (De'Longhi Appliances S.r.l, Treviso, Italia): Denne ovnen (figur 11), er valgt fordi oljen er tenkt å kunne fungere som et bedre lagringsmedie enn stål. Ovnen veier i tillegg 9,2 kg mer enn gulvovnen. Hypotesen er at den oljefylte radiatoren, vil holde temperaturen i rommet oppe lengre enn gulvovnen. Ovnen er bygget i stål med olje som oppvarmingsmedie. Olje har antatt bedre varmekapasitet enn stål. Varme-elementet har tre innstillinger 900/1100/2000 W. Termostaten er mekanisk, derfor kan en ikke velge ønsket temperatur på et digitalt display. Det er mulig ved bruk av elektroniske termostater. Dens dimensjoner er 43x15x63 cm, og den veier 13,2 kg. Den er tilpasset rom med volum opp til 60 m³. Ovnen har 5 års garanti. Ovnen er kjøpt på elkjøp for kr 899 [58], [59].



Figur 11: Oljefylt radiator i senter av forsøksrommet, plassert så nærme veggen som mulig.

Ovnstype nr. 3 Panelovn med glassoverflate Mill PH1000DN S (Mill International AS, Østerås, Norge): Denne ovnen (figur 12) er Norges mest solgte panelovn med glassfront, og er med fordi det er vanlig ovn i norske hjem [60]. Det er antatt at glasset med varmekapasitet på 0,84 kJ/kgK [61], vil holde bedre på varmen enn stål. Stål har en varmekapasitet på 0,49 kJ/kgK [61]. Den bruker i tillegg halvparten av effekten som det gulvovnen og radiatoren gjør. Det gjør det mulig å få en lastreduksjon ved å bytte ut ovner som trekker 2 kW, med disse ovnene som trekker 1 kW. Ovnen er bygget i stål med en glassflate på overflaten ut mot rommet. Varme-elementet er bygget i aluminium. Varme-elementet har en innstilling på 1000 W. Termostaten er elektronisk. Termostaten kan stilles inn for å utføre dag/natte-senking av temperaturen. Ovnenes dimensjoner er 101,5x6,0x46,5 cm, og den veier 6 kg. Den er tilpasset bruk i rom med størrelse 12-16 m². Ovnen har 2 års garanti [62]. Ovnen ble kjøpt som demomodell på komplett.no for 1185 kr. Vanlig pris er 1395 kr, og den kan skaffes hos flere elektronikk-kjeder bl.a. elkjøp [63].



Figur 12: Panelovn med glassoverflate plassert midt i rommet. Ovnene er plassert på et stativ da det ikke var mulig å montere den på veggen.

Ovnstype nr.4 Ovn med varmelager Dimplex Quantum QM-100 (GDC Group, Southampton, United Kingdom): Quantum QM-100 fra Glen Dimplex) (figur 13), er en ovn med varmelager i form av 70 kg magnetitt-mursteiner. Magnetitt har en varmekapasitet på 0,67 kJ/kgK [61]. Selve ovnen er bygget i stål. Total vekt er 107 kg, og dimensjonene er 73x88,5x18,5 cm. Den har 5 varme-elementer. Fire som er knyttet opp mot varmelageret direkte, og et "boost"-element. Varmelageret er på 15,4 kWh. Den trekker 2.2 kW. Boost-elementet trekker 880 W. Fra produsent har den 10 års garanti. Ovnene har isolasjon rundt varmelageret. Den har et smart styringssystem som åpner for ladning av varmelageret i egenspesifiserte perioder [64], [65].

Denne ovnen er spesiallaget for å flytte effekttopper i det engelske strømmettet [65]. Hypotesen er at denne ovnen skal kunne utføre peak shaving på det norske nettet også.

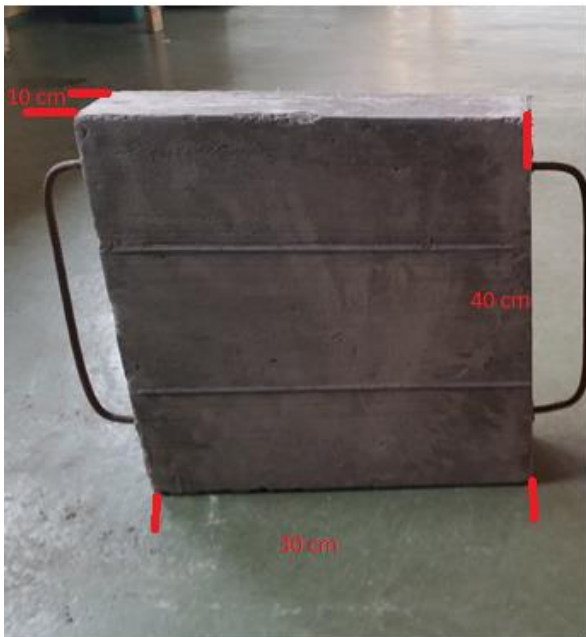


Figur 13: Dimplex Quantum QM-100 plassert midt i rommet. Ovnene er plassert på et stativ i tre, da det ikke var mulig å montere ovnen direkte på veggen.

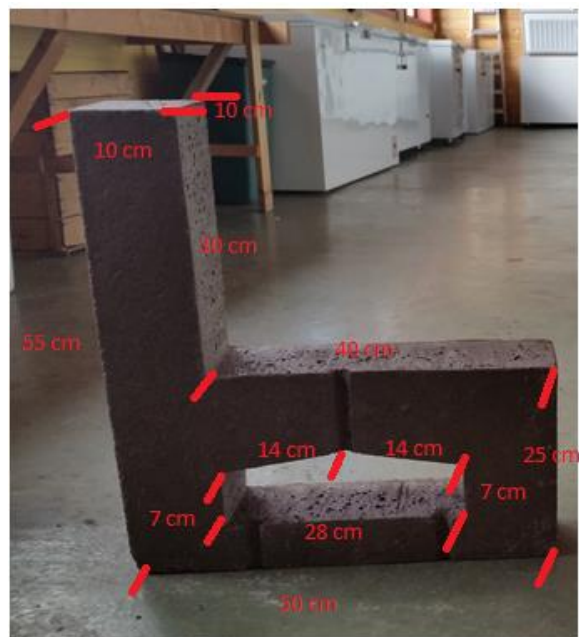
3.1.6 Termiske masse brukt i forsøket

Betong: En betongkloss (figur 14) med dimensjonene 40x30x10cm ble støpt av (Norcem STD-FA, Norcem produsent, by, land). Blandingsforholdet i betongen er gitt i vedlegg C. Betong-blokken veier 37 kg. Betong har gode termiske egenskaper, og en varmekapasitet på 0,75 kJ/kgK [61]. Luft har en varmekapasitet på 1,0 kJ/kgK [66], men har mye lavere tetthet enn de termiske massene ca. 1,3 kg/m³ [67]. Betong har en tetthet på 2200-2400 kg/m³ [68]. Formålet var å undersøke om en relativt liten termisk masse ville påvirke oppvarmings- og avkjølings-forløpene i forsøksrommet.

Olivin-element: Et peiselement av olivinstein (figur 15) donert av Varmepipa AS (Sem, Norge) [49], ble brukt under forsøkene. Elementet veier 35 kg, og er utformet med tanke å være et hjørne i en peis. Olivin-elementet og betong-klossen har derfor ulik overflate. Olivin har en spesifikk tetthet på 3,2-4,4 altså 3200-4400 kg/m³ [69]. Olivin har en antatt varmekapasitet på 2,76 MJ/m³K [70]. Formålet med olivinstein er å teste den opp mot betong-klossen.



Figur 14: Betongkloss med oppgitte dimensjoner.



Figur 15: Olivin-element med oppgitte dimensjoner.

3.2 Fremgangsmåte ved test av ovner

Alle ovner er testet ved å bruke så lik metode som mulig. Først er alle ovnene testet uten de termiske massene i rommet. I neste forsøk ble betong-klossen plassert i rommet, enten rett ved siden av ovnen, eller over ovnen. I det siste forsøket ble olivin-elementet plassert i rommet. Stativet er brukt for å sikre best mulig varmeoverføring mellom ovn og termisk masse.

Felles for alle ovnene er at de plasseres langs østre vegg, så nær midten av rommet, og så nærme vegg, som det lar seg gjøre. De er koblet til et strømuttak koblet opp mot en kontakt på utsiden av forsøksrommet. Det gjør det mulig å styre tilført effekt til ovnene utenfor forsøksrommet. Alle ovner er startet med å koble inn støpselet både inne i forsøksrommet, og utenfor forsøksrommet. Deretter stilles ovnens termostat inn til å gi maksimal effekt. Det ble gjort ved å stille ovnene inn til maksimal tillatt temperatur.

Døren til forsøksrommet lukkes, og lyset slås av. En ny tekstfil ble opprettet før hvert forsøk. Loggeren startes, og oppvarmingsforløpet i rommet overvåkes, til komfort-temperatur inne i rommet er 23 °C. Hver gang 23 °C er nådd, ventes det minst ett minutt, før tilført effekt til ovnen kobles ut. Det gjøres for å sikre at temperaturen er stabil over minst et minutt, siden oppløsningen på målingene er ett minutt. Når stabil temperatur var oppnådd, ble støpselet som forsyner ovnen med effekt trukket ut. Deretter startet

nedkjølingsforløpet, hvor ovnen ikke ble tilført effekt. Nedkjølingsfasen varte i 22-20 timer, avhengig av hvor lang tid oppvarmingen tok.

Etter 20-22 timer startet neste forsøk. Det ble gjort for at temperaturen i forsøksrommet skulle stabilisere seg. Ved uavbrutt døgnsyklus var start-temperatur 14 °C. De termiske massene lades opp over lang tid, derfor er forsøk med de termiske massene utført med minimum 24 timers mellomrom. Det er derfor kjørt en fast rekkefølge. Først kun luft, deretter betong, for så å teste olivin for hver ovn.

For panelovnen og gulvovnen har de termiske massene blitt plassert på et stativ på oversiden av ovnen, for å sikre best mulig varmeoverføring mellom ovnen og massen. For den oljefylte radiatoren og Dimplex Quantum QM-100, er de termiske massene plassert på gulvet rett foran ovnene. Det er gjort fordi det gir bedre varmeoverføring mellom ovn og termisk masse for disse ovnene.

For panelovnen med glassoverflate er det gjort to ekstra forsøk. For å undersøke energiforbruket til ovnen over tid, ble ovnens termostat stilt inn til 21 °C, for så å la ovnen stå på i 7 timer. Deretter er effekttilførselen til ovnen kuttet på samme måte som i de øvrige forsøkene. For å undersøke hvordan lengden på oppvarmingsperioden påvirket nedkjølingsforløpet til den termiske massen, ble olivin-elementet varmet opp av panelovnen i 4 timer ved 21 °C. Olivin-elementet er plassert på et stålstativ over ovnen for å oppnå bedre varmeoverføring mellom ovnen og olivin-elementet. Varm luft kommer ut av ovnen fra rillene på oversiden av ovnen. Det gjør at luften er varmere her enn ellers. Deretter ble effekt-tilførselen koblet ut, og nedkjølingsprosessen ble studert.

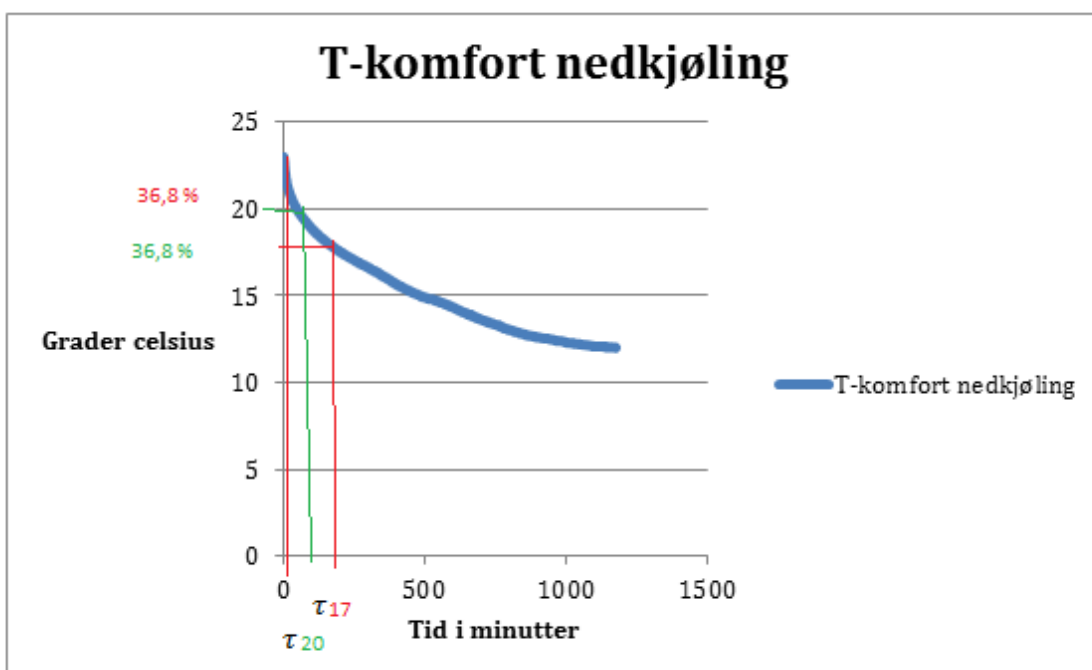
Dimplex Quantum QM-100 krevde en egen fremgangsmåte, fordi den ikke lot seg varme opp på samme måte som de andre ovnene. Ovnens må settes på et program for oppvarming. Derfor er ovnen varmet opp over minst et døgn. Det gjøres for å sikre at ovnen får tid til å følge sitt oppvarmingsprogram, og nå ønsket satt temperatur på termostaten. I dette tilfellet var det 21 °C. Deretter kunne ovnens nedkjølingsforløp studeres på samme vis som for de andre ovnene ved å koble ut tilført effekt til ovnen, og vente til temperaturen i rommet var 17 °C eller kaldere.

Ovnen ble også testet over en uke for å finne ut hvor mye energi den bruker i feriemodus. Det er nyttig for å si noe om hva hytteeiere kan forvente av strømforbruk fra ovnen. Hytte-eiere lar ofte ovnene stå på mellom hvert besøk på hytta, for å holde oppe en ønsket temperatur. Da er det interessant å se hvor mye strøm en kan spare på å kjøpe en Quantum QM-100 vs. en tradisjonell ovn.

3.3 Analyse av ovnene

Resultat-filene fra loggeren inneholdt dato, tid, temperaturverdier, og verdier for energi og effekt. Resultat-filene ble importert til Microsoft Office Excel for Mac 2011 (Microsoft Corporation, Redmond WA, USA). Dato og tid, samt temperaturene registrert av de syv termistorene, energi og effekt ble delt opp i egne kolonner. Først ble komfort-temperatur ved alle tidspunktene bestemt ved å beregne gjennomsnittet av temperaturene langs østlig og vestlig vegg, samt midt i rommet T-op. Komfort-temperaturen samt temperaturen til de syv termistorene ble plottet som en funksjon av tid. Energi- og effekt-forbruket til ovnene som funksjon av tid, ble også plottet.

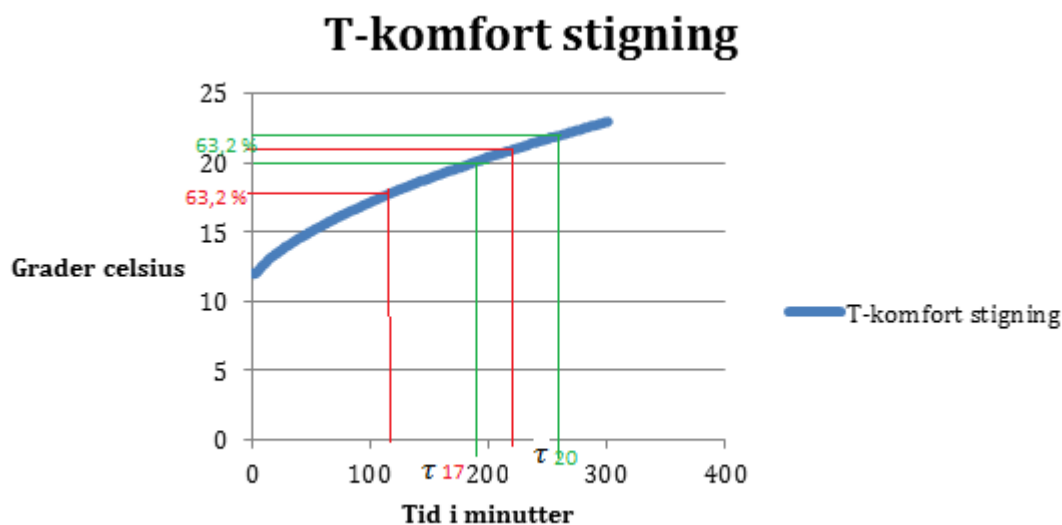
De viktigste temperatur-områdene å studere er fra 16,9 °C og opp til maks-temperatur, og fra 19,9 °C opp til makstemperatur som er registrert. Da anbefalt nattesenkningstemperatur er 17 °C [71], og anbefalt komfort-temperatur er mellom 20-24 °C [42]. Differansen mellom T-maks og T-nattesenkning ΔT nattesenkning (formel 1), både under oppvarming og nedkjøling ble derfor funnet. Tilsvarende ble også ΔT komfort funnet for oppvarming og nedkjøling (formel 2).



Figur 16: Viser hvordan en går frem for å finne tidsdifferanser for nedkjøling manuelt. Her for nedkjøling til 16,9 °C og 19,9 °C. I figuren står det 17 og 20 for å få plass til tallene.

Tidsdifferanse for oppvarming, og nedkjøling ble så bestemt. For oppvarming er tidsdifferansen gitt som tiden det tar å varme opp rommet fra minimumstemperatur 16,9 °C til 63,2 % av maksimums-temperatur (figur 16). For nedkjøling ser en på tiden fra maksimums-temperatur til rommet er kjølt ned 36,8 % av

maksimums-temperatur (figur 17). Det vil være tidsdifferansen for nedkjøling. For å regne ut de ulike verdiene som var nødvendig for å analysere oppvarmings og nedkjølingsforløpene ble formlene 1-8 benyttet.



Figur 17: Viser hvordan en går frem for å finne tidsdifferanser for oppvarming manuelt. Her for oppvarming fra 16,9 °C og 19,9 °C. I figuren står det 17 og 20 for å få plass til tallene.

Panelovnen er kjørt over lengre tid enn de andre ovnene, og er derfor analysert med tanke på energiforbruk. Formel 9 ble benyttet for å finne gjennomsnittlig energiforbruk som kunne sammenlignes med tilsvarende verdier for Dimplex Quantum QM-100.

Dimplex Quantum QM-100 kunne ikke varmes opp på samme måte som de andre ovnene. Det var derfor ikke mulig å analysere oppvarmingsfasen til Dimplex Quantum QM-100. Nedkjølingsfasen ble analysert på samme måte som de andre ovnene. Gjennomsnittlig effektforbruk ble funnet ved å bruke formel 9.

Dimplex Quantum QM-100 er også analysert med tanke på lønnsomhet i forhold til andre løsninger for peak shaving. For å få en vurdering av lønnsomhet er formlene 10-14 benyttet.

Formler:

Temperatur:

$\Delta T_{nattsenking}$ er temperaturdifferansen mellom maks-temperatur og komfort-temperatur. T_{maks} er maks-temperatur. $T_{nattsesenking}$ er satt nattsenkings-temperatur. Her 16,9 °C, og er gitt ved

$$\Delta T_{nattsesenking} = T_{maks} - T_{nattsesenking} \quad (1)$$

$\Delta T_{komfort}$ er differansen mellom maks-temperatur og komfort-temperatur. T_{maks} er maks-temperatur.

$T_{komfort}$ er komfort-temperatur og er gitt ved

$$\Delta T_{komfort} = T_{maks} - T_{komfort} \quad (2)$$

$\Delta Tid, T_{nattsenking}$ er tiden det tar for temperaturen å synke til nattsenkings-temperatur. Snur en på uttrykket får en tiden det tar å varme opp rommet fra nattsenkings-temperatur til maks-temperatur. Tid, T_{maks} er tidspunktet når maks-temperaturen er nådd. $Tid, T_{nattsenking}$ er første/siste tidspunkt med nattsenkings-temperatur avhengig om en ser på nedkjøling/oppvarming. Formelen for utregning er gitt ved

$$\Delta Tid, T_{nattsenking} = Tid, T_{maks} - Tid, T_{nattsenking} \quad (3)$$

$\Delta Tid, T_{komfort}$ er tiden det tar for rommet å gå fra minste komfort-temperatur her satt til 19,9 °C til maks-temperatur. Snur en uttrykket vil formelen gi tiden det tar å kjøle ned rommet. Tid, T_{maks} er tiden maks-temperaturen inntreffer. $Tid, T_{komfort}$ er tiden komfort-temperatur inntreffer og er gitt ved.

$$\Delta Tid, T_{komfort} = Tid, T_{maks} - Tid, T_{komfort} \quad (4)$$

$\tau_{oppvarming, nattsenking}$ er tidsdifferansen for oppvarming for nattsenking. $Tid, (T_{nattsesenking} + 0,632 * \Delta T_{nattsesenking})$ er tidspunktet der temperaturen er 63,2 % høyere enn nattsenkings-temperaturen.

$Tid, T_{nattsesenking}$ er tidspunktet der temperaturen er lik nattsenkings-temperaturen og er gitt ved

$$\tau_{oppvarming, nattsenking} = Tid, (T_{nattsesenking} + 0,632 * \Delta T_{nattsesenking}) - Tid, T_{nattsesenking} \quad (5)$$

$\tau_{nedkjøling, nattsenking}$ er tidsdifferansen for nedkjøling for nattsenking.

$Tid, (T_{maks} - 0,368 * \Delta T_{nattsenking})$ er tidspunktet temperaturen som er 36,8 lavere enn maks-temperaturen inntreffer under nedkjøling første gang. Tid, T_{maks} er tidspunktet maks-temperaturen inntreffer og er gitt ved

$$\tau_{nedkjøling, nattsenking} = Tid, (T_{maks} - 0,368 * \Delta T_{nattsenking}) - Tid, T_{maks} \quad (6)$$

$\tau_{oppvarming, komfort}$ er tidsdifferansen for oppvarming for komfort-temperatur. $Tid, (T_{komfort} + 0,632 * \Delta T_{komfort})$ er tiden temperaturen som er 63,2 % høyere enn komfort-temperatur inntreffer første gang. $Tid, T_{komfort}$ er tiden komfort-temperatur inntreffer siste gang før maks-temperatur er nådd og er gitt ved

$$\tau_{oppvarming, komfort} = Tid, (T_{komfort} + 0,632 * \Delta T_{komfort}) - Tid, T_{komfort} \quad (7)$$

$\tau_{nedkjøling, komfort}$ er tidsdifferansen for nedkjøling for komfort-temperatur. $Tid(T_{maks} - 0,368 * \Delta T_{komfort})$ er tidspunktet temperaturen som er 36,8 % lavere enn maks-temperatur er nådd første gang under nedkjøling. Tid, T_{maks} er tidspunktet maks-temperaturen er nådd og er gitt ved

$$\tau_{nedkjøling, komfort} = Tid(T_{maks} - 0,368 * \Delta T_{komfort}) - Tid, T_{maks} \quad (8)$$

Energi/Effekt:

\bar{P} er gjennomsnittlig effekt over tid kWh/h. E er energiforbruk i kWh, og t er tid i timer og er gitt ved

$$\bar{P} = \frac{E}{t} \quad (9)$$

Økonomi:

$$Kostnad = 550 \text{ pund} * 11,8 \text{ NOK} + 4.400 \text{ kr i frakt} \quad (10)$$

$$Kvantumsrabatt 30\% = Kostnad * 0,7 \quad (11)$$

$$Timer \text{ mellom oktober og mars} = (\text{Antall dager oktober til mars}) * 24 \text{ timer} \quad (12)$$

$$Kostnad \text{ strøm} = \bar{P} * \text{Timer mellom oktober og mars} \quad (13)$$

NPV er nåverdi. K_0 er verdien av pengene i dag. K_n er verdien til pengene om n år. Videre er p rentesatsen, og n er antall år. Formelen er gitt som

$$NPV = K_0 = \frac{K_n}{(1 + \frac{p}{100})^n} \quad (14)$$

:

3.4 Simulering

Simuleringen er gjort i SolidWorks 2014 x64 Edition (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation,

Waltham, MA, USA) ved å bruke tillegget SolidWorks Flow Simulation 2014. Simuleringen er kun gjort for

gulvovn med betong. Simuleringen viste seg å være tidkrevende og krever detaljert informasjon om både ovnen, rommet og termisk masse brukt for å være av nytte.

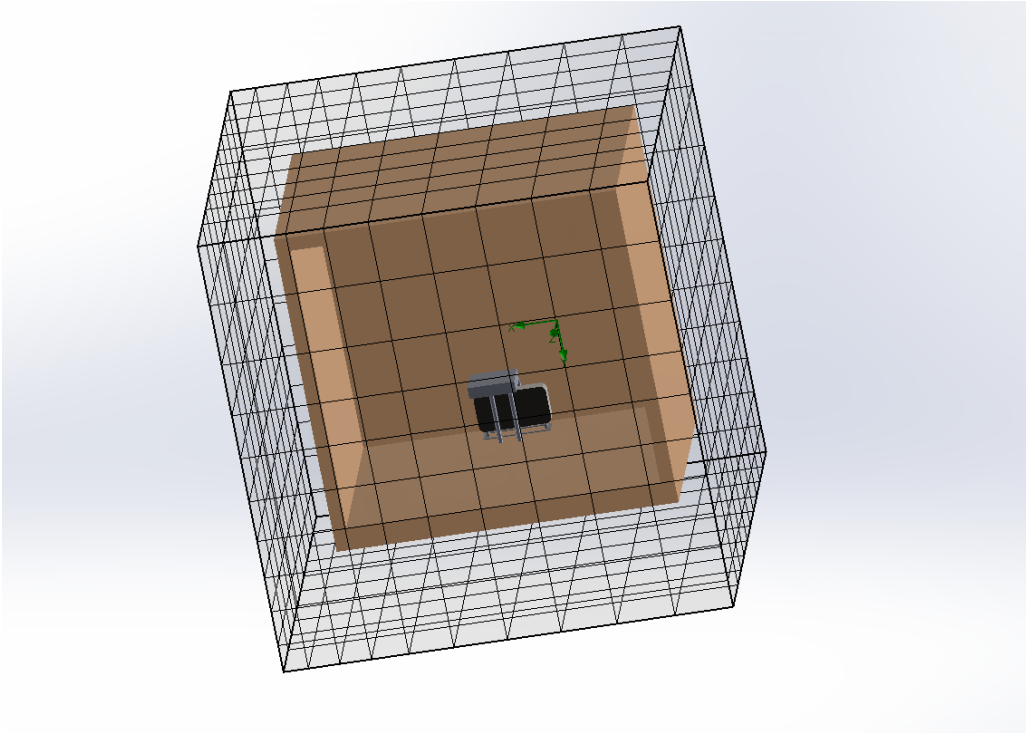
Før en kan simulere må en bygge opp et tomt rom å plassere ovnen, betongklossen og stativet i rommet. Det gjøres ved å benytte 3D Cad til først å tegne et rom, ovnen, stativet og en betongblokk.

Når en har laget tegninger i SolidWorks 3D Cad, kan disse settes sammen til et oppsett kalt en assembly. Assemblyen kan videre analyseres i SolidWorks Flow Simulation. Det er en CFD (Computational Fluid Dynamics) programvare som muliggjør simulering av væske og gass-flyt, og varmeoverføring fra væsken/gassen.

For oppvarming settes rommet opp med initialbetingelser for temperatur, og U-verdier i veggene, i tillegg til varmekilde. Kjente verdier fra tester i forsøksrommet settes som initialbetingelser for temperaturer utenfor og innenfor rommet. Utendørs-temperatur settes til 2 °C. Ovnene velges som en varmekilde med en overflate-temperatur på 100 °C. For oppvarming ble innendørstemperatur satt til 14 °C. U-verdier var ukjente før simuleringen startet. Det var derfor nødvendig å estimere en verdi for U-verdiene ut i fra andre kjente verdier. Simuleringen ble kjørt over 5820 sekunder, like lang tid som ovnen brukte på å nå en snitt-temperatur i rommet på 23 °C, i forsøket på SKP. Simuleringen ble kjørt i time-steps på 582 sekunder. Det vil si 10 tids-steg. Meshen ble satt til nivå 3 (figur 18).

For nedkjøling ble varmekilden slått av, og start-temperatur inne i rommet satt til 27 °C. Det var luft-temperaturen inne i forsøksrommet etter avsluttet oppvarming på SKP. Deretter ble en U-verdi estimert for nedkjøling, U-verdiene vil være de samme for oppvarming og nedkjøling. Derfor ble U-verdiene fra nedkjølingsforløpet satt til å være like som for oppvarmingen. Det ble tatt utgangspunkt i gjennomsnittlige temperaturer for U-verdier for bygningsforskriftene i TEK-10 [72].

Resultatene kan animeres som en uniform distribusjon over tid. Det gjør det mulig å sammenligne oppvarmingsforløpet og nedkjølingsforløpet fra simuleringen med verdiene som er funnet i forsøksrommet på SKP. Hva som skal animeres kan velges i programvaren. For denne oppgaven er det valgt å bruke et utsnitt av luft-temperatur ved å benytte cut-plots.



Figur 18: Viser mesh-/maske-inndeling for simuleringene. Det er brukt mesh på nivå 3 i SolidWorks.

4 Resultater

I denne delen følger resultatene fra testene utført i forsøksrommet på SKP for de ulike ovnene. I tillegg følger analysen av bildene tatt med infrarødt kamera. Deretter er det foretatt en økonomisk analyse av investeringskostnadene forbundet med Dimplex Quantum QM-100, før resultatene fra simuleringen følger til slutt.

4.1 Tester av ovnene i forsøksrommet.

Her følger en oversikt over de ulike karakteristikene til de fire ovnene som ble testet på forsøksrommet på SKP. Det er laget plot for oppvarming og nedkjøling for alle ovnene, i tillegg til et plot for energi- og effektforbruket for de ulike ovnene. Temperaturen ble overvåket i en oppvarmingsfase hvor ovnen sto på og trakk full effekt. Når komfort-temperatur på 23 °C var oppnådd, ble effekten til ovnen koblet ut, og nedkjølingsfasen startet. Alle ovnene ble testet med og uten termiske masser plassert i rommet.

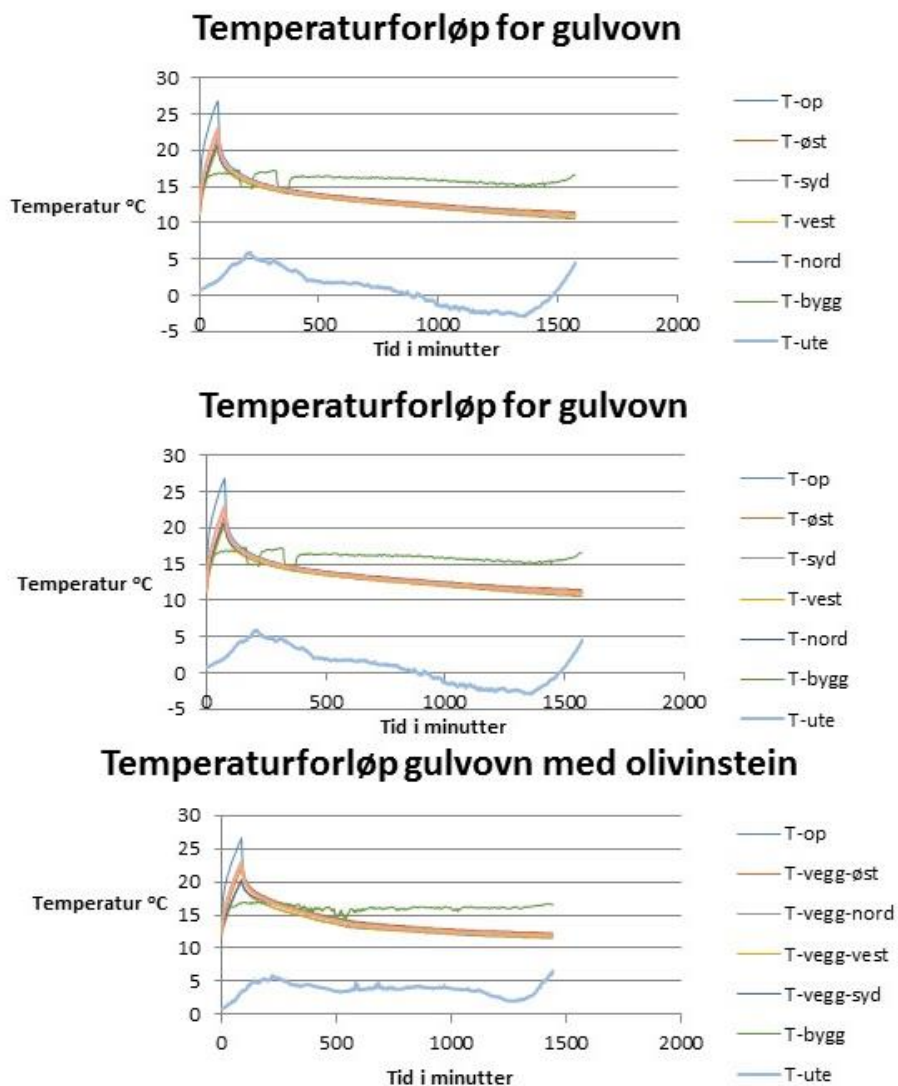
4.1.1 Gulvovn

Figur 19 viser at temperaturen i forsøksrommet stiger meget raskt. Rommet varmes opp fra 11,4 °C til 23 °C på 76 minutter, for gulvovnen uten termisk masse. Temperaturen synker også veldig raskt og bruker kun ni minutter på å gå fra 23 °C til 19,9 °C. Det er også verdt å legge merke til at linjene som representerer temperatur inne i rommet ligger tett opp mot hverandre, med unntak av T-op som stiger raskere enn de andre målepunktene. Selv om temperaturen veksler på utsiden av rommet, så påvirkes ikke det temperaturen på innsiden av rommet. Det tyder på at rommet er bra nok isolert til at forsøket ikke påvirkes av ytre forhold. Figur 20 viser at effekten står inne på mellom 1800 og 1875 W under hele oppvarmingsforløpet. Etter 78 min kobles effekten til ovnen ut, og energiforbruket stopper opp på 2,349 kWh. Det vil si at ovnen bruker lite energi for å varme opp rommet. Med kun 0,2 kWh/ °C under oppvarmingen.

Termiske masser:

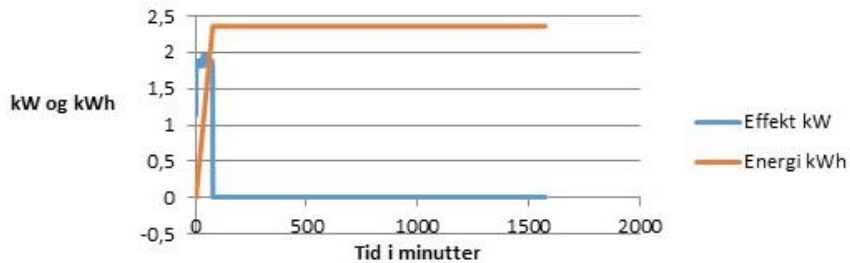
Figur 19 viser temperaturforløpet for oppvarming med betong på stativ over gulvovnen. Ovnen bruker nå 94 min på å varme opp rommet fra 12,4 °C til 23 °C. Det er en tregere oppvarming enn uten termisk masse. Til gjengjeld så holder rommet komforttemperatur i 19 min mot 9 min uten betong i rommet. Det er en forbedring på 111 %. Figur 19 viser også oppvarming for rommet med olivin-elementet på et stativ. Rommet holder temperaturen oppe litt lenger enn om elementet ikke er i rommet. Den bruker 88 min på å varme opp rommet fra 12,6 °C til 23 °C. Det er tregere enn oppvarmingen uten termisk masse. Den bruker syv minutter lenger tid på å kjøle ned rommet. En forbedring på 78 %. For begge tilfeller er ikke temperaturen på innsiden av rommet påvirket av temperaturer på utsiden av rommet. Den grønne linjen som representerer temperaturen i rommet på utsiden av forsøksrommet, må justeres på grunn av temperaturene på utsiden av rommet. Figur 20 viser at ovnen bruker 2,932 kWh på å varme opp rommet med betong i rommet, noe som tilsvarer 0,28 kWh/ °C. Det vil med andre ord si at den bruker mye mer tid, og 40 % mer energi på å utføre

samme oppgave. Med olivin i rommet bruker ovnen 2,656 kWh på å varme opp rommet. Noe som tilsvarer 0,26 kWh/ °C. Det vil si at den varmer opp tregere og bruker 30 % mer energi med olivin i rommet enn med kun luft.

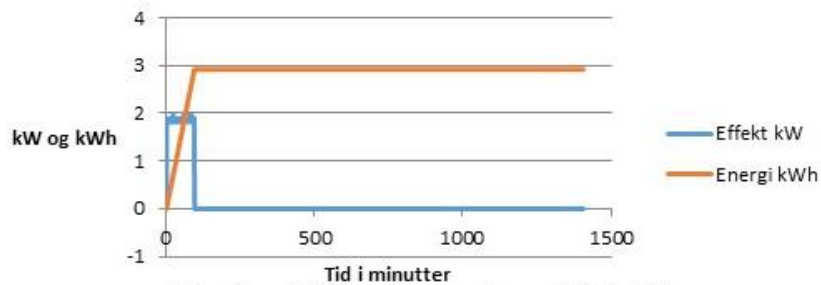


Figur 19: Oversikt over temperaturmålinger for gulvovnen fra Mill. Øverst representerer rommet uten termisk masse, midt i er betong plassert på et stativ over ovnen, og nederst er et olivin-element plassert på samme stativ over ovnen. Temperaturene i rommet er målt henholdsvis midt i rommet (T-op), langs østre vegg(T-øst), langs sydlig vegg(T-syd), langs vestre vegg (T-vest), langs nordre vegg(T-nord), i rommet utenfor forsøksrommet (T-bygg), utendørstemperatur (T-ute). T-komfort er snitt-temperatur av T-op, T-øst og T-vest. Oppløsningen er på 1 minutt per måling.

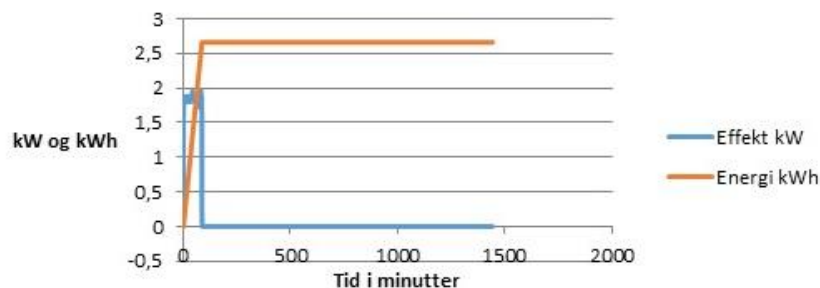
Effekt- og energi-forbruk for gulvovn uten termisk masse



Energiforbruk i kWh og effekt gitt i kW for gulvovn med betong



Energiforbruk i kWh og gitt effekt i kW for gulvovn med olivinstein



Figur 20: Oversikt over energi- og effekt-forbruk for gulvovn uten termisk masse i rommet øverst, midterst er det betong i rommet, og nederst er olivin-elementet introdusert i rommet. Blå linje viser effekt i kW, og rød linje viser akkumulert energi-forbruk i kWh.

4.1.2 Oljefylt radiator:

Øverst i figur 21 vises temperaturforløpet for oppvarming og nedkjøling av forsøksrommet, ved hjelp av den oljefylte radiatoren uten ekstra termisk masse i rommet. Dette er første forsøk for den oljefylte radiatoren uten termisk masse i rommet. Det en legger merke til er at oppvarmingen ikke skjer like jevnt med den oljefylte radiatoren som med gulvovnen. Det er større forskjell på luft-temperatur, og temperatur langs veggene enn for gulvovnen. Det er også noen små topper og bunner i oppvarmingsforløpet som skyldes at termostaten til radiatoren slår inn og ut ved jevne mellomrom. Oppvarmingen skjer relativt raskt. Rommet varmes opp fra 12 °C til 23 °C på 139 min.

I figur 23 øverst vises energi- og effekt-forbruket. Den bruker den 3,524 kWh på å varme opp rommet, som gir et forbruk på 0,32 kWh/ °C. Den bruker 37,5 % mer energi enn gulvovnen for hele oppvarmingsforløpet. Til gjengjeld holder den bedre på varmen, og holder komfort-temperatur i 50 min etter avslått effekt. Det er lite påvirkning fra forholdene utenfor rommet

Temperaturforløp med termisk masse nær varmekilden:

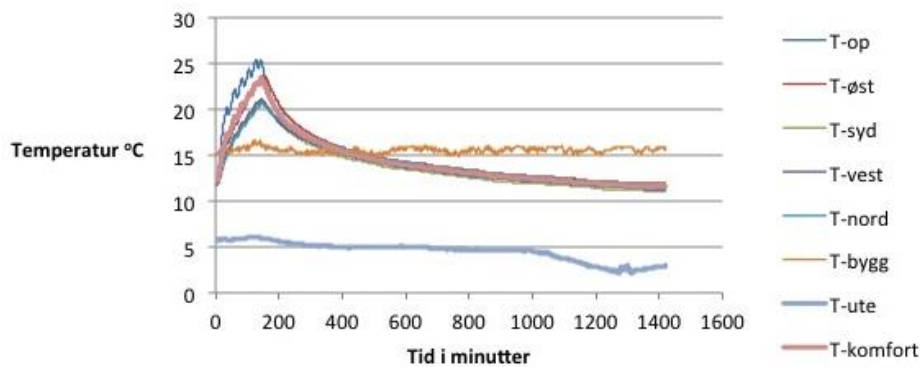
Nederst på figur 21 vises temperaturforløp, og effekt- og energi-forbruk for den oljefylte radiatoren med betong-blokken stående tett inntil radiatoren. Det en legger merke til er at dette forsøket ikke har en like lang tidsserie som datagrunnlag. Det gjør at toppene, og bunnene i temperaturforløpet for oppvarming kommer tydeligere frem. Det samme gjør effekt-forbruket nederst i figur 23. Forløpet er langt nok til at det favner temperaturene fra 16,9 °C til 23 °C, både for oppvarming og nedkjøling. Ovnene er litt raskere med betong i rommet enn uten betong. Den bruker 97 min på å gå fra 12,1 °C til 23 °C. På det bruker den 2,624 kWh. Noe som gir et forbruk på 0,24 kWh/ °C under oppvarmingen. Det er 17 % mindre enn hva gulvovnen bruker. Rommet holdes innenfor komfort-temperatur i 33 min etter at effekten til ovnen er koblet ut. For betong er gjentak 2 studert.

Øverst i figur 22 vises temperaturutviklingen under oppvarming og nedkjøling for den oljefylte radiatoren med olivin-elementet tett inntil radiatoren. Energi- og effekt-forbruket vises øverst i figur 24. En legger merke til at oppvarmingen skjer raskere enn for samme ovn uten termisk masse. En legger også merke til at luften varmes opp mye raskere enn veggene. Noe som tyder på at en stor del av oppvarmingen skyldes konveksjonsvarme. En ser de samme toppene og bunnene som oppstår for radiatoren ellers, fordi termostaten slår seg ut med jevne mellomrom. Ovnene bruker 110 min på å gå fra 12,9 °C til 23,2 °C. Det bruker den 2,796 kWh på å gjøre. Det gir et forbruk på 0,27 kWh/ °C. Noe som er lavere enn for samme ovn uten termisk masse, men på nivå med høyeste effektforbruk for gulvovnen.

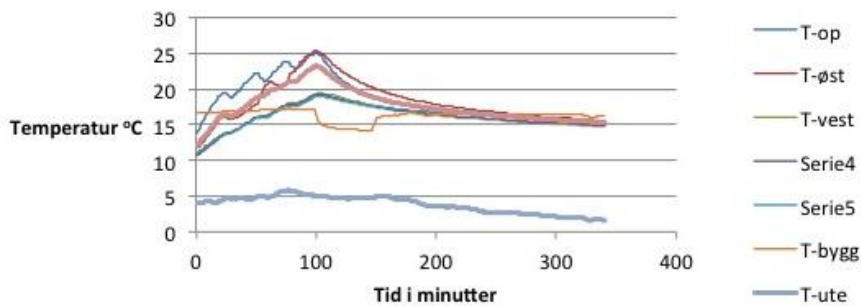
Nederst i figur 22 vises temperaturutviklingen for oppvarming og nedkjøling av rommet for den oljefylte radiatoren med både olivin og betong tett inntil ovnen. Nederst i figur 24 vises effekt- og energi-forbruket.

En legger merke til at oppvarmingen skjer veldig raskt, og at luften T-op blir langt raskere varm enn veggene. Det er store temperatursvingninger på utsiden av forsøksrommet, men det påvirker ikke forsøket på innsiden av rommet. Ovn er nå i stand til å varme opp rommet fra 15,6 °C til 23 °C på 67 minutter. Det bruker den 1,879 kWh på å gjøre. Det tilsvarer et energiforbruk på 0,25 kWh/ °C. Noe som betyr at gulvovnen fortsatt varmer opp rommet mest energieffektivt. Radiatoren er likevel i stand til å holde oppe temperaturen innenfor komfort-temperatur i hele 67 minutter etter at så lite energi er tilført. Det er 3,5 ganger lengre enn gulvovnen.

Temperaturforløp oljefylt radiator langs vegg

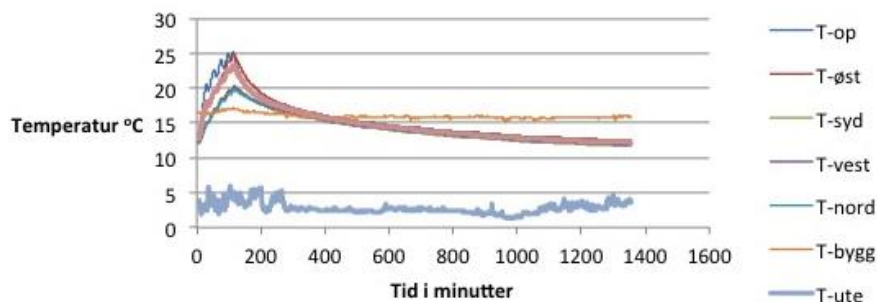


Temperaturforløp for oljefylt radiator med betong i rommet

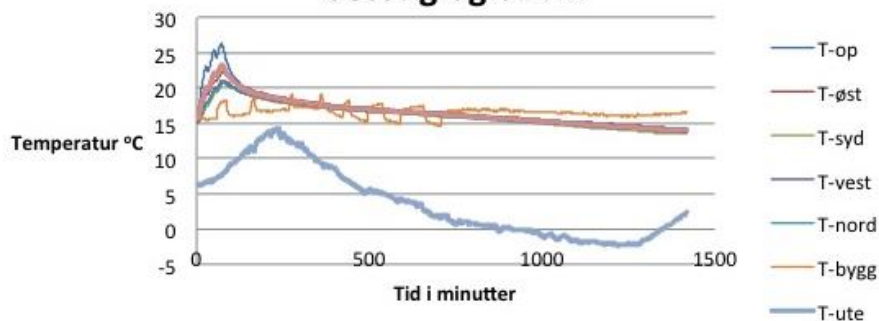


Figur 21: Viser temperaturforløpet for forsøk med oljefylt radiator. Øverst vises radiator uten termisk masse, nederst med betong inntil radiatoren. Temperaturene i rommet er målt henholdsvis midt i rommet (T-op), langs østre vegg(T-øst), langs sydlig vegg(T-syd), langs vestre vegg (T-vest), langs nordre vegg(T-nord), i rommet utenfor forsøksrommet (T-bygg), utendørstemperatur (T-ute). T-komfort er snitt-temperatur av T-op, T-øst og T-vest. Oppløsningen er på 1 minutt per måling.

Temperaturforløp oljefylt radiator med olivinstein i rommet + ambiente temperaturer

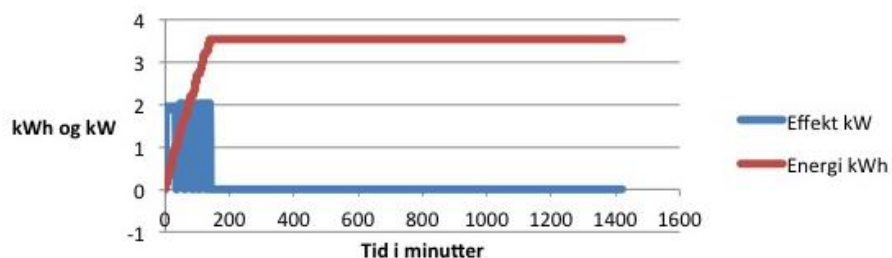


Temperaturforløp oljefylt radiator med betong og olivin

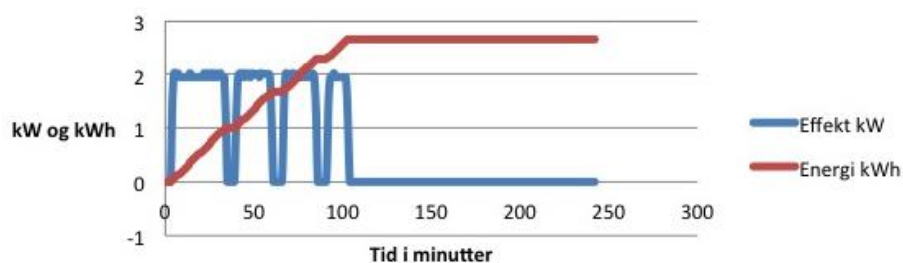


Figur 22: Viser temperaturforløpet for oljefylt radiator med olivin-elementet ved siden av ovnen øverst, nederst er både betong og olivin plassert inntil ovnen. Temperaturene i rommet er målt henholdsvis midt i rommet (T-op), langs østre vegg(T-øst), langs sydlig vegg(T-syd), langs vestre vegg (T-vest), langs nordre vegg(T-nord), i rommet utenfor forsøksrommet (T-bygg), utendørstemperatur (T-ute). T-komfort er snitt-temperatur av T-op, T-øst og T-vest. Oppløsningen er på 1 minutt per måling.

Energi- og effekt-forbruk for oljefylt radiator uten termisk masse

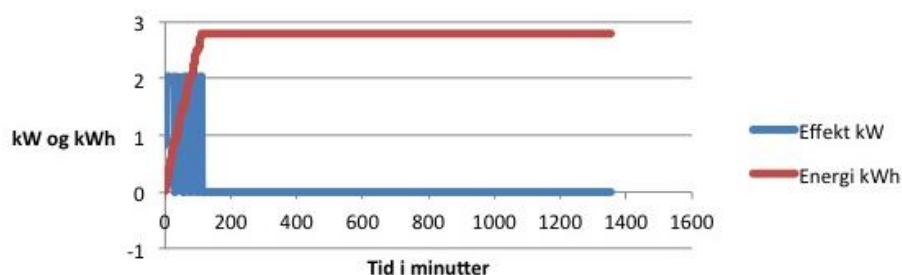


Energi og effektforbruk for oljefylt radiator med betong i rommet

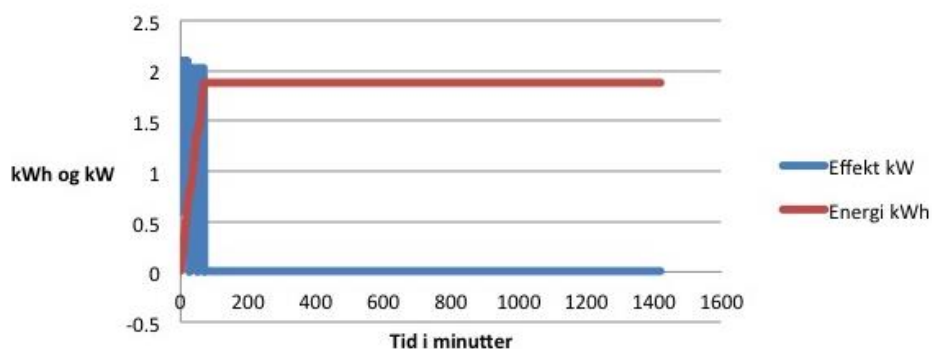


Figur 23: Oversikt over energi- og effekt-forbruk for radiator uten termisk masse i rommet øverst, midterst er det betong i rommet. Blå linje viser effekt i kW, og rød linje viser akkumulert energi-forbruk i kWh.

Energiforbruk i kWh og gitt effekt i kW for oljefylt radiator med olivinstein



Energiforbruk i kWh og effekt gitt i kW



Figur 24: Oversikt over energi- og effekt-forbruk for radiator med olivin-elementet i rommet øverst, midterst er det både betong og olivin i rommet. Blå linje viser effekt i kW, og rød linje viser akkumulert energi-forbruk i kWh.

4.1.3 Panelovn med glassflate

Øverst i figur 25 viser temperaturutvikling for oppvarming og nedkjøling av rommet med panelovn med glassflate. En legger merke til at ovnen bruker lang tid på å varme opp rommet. Veggene varmes opp veldig likt, og lufttemperaturen er jevnt 4 °C høyere enn temperaturen langs veggene. Ovnene bruker 247 minutter på å fra 12,2 °C til 23 °C. Øverst i figur 27 ser en et plot av energiforbruket. Ovnene bruker det 3,9 kWh på å varme opp. Det gir et forbruk på 0,36 kWh/ °C under oppvarmingen. Det er det høyeste energiforbruket av alle ovnene. Den holder relativt bra på varmen, og holder rommet innenfor komfort-temperatur i 34 minutter. Selv om det er store svingninger i temperatur utenfor rommet, er ikke forsøket påvirket av disse endringene på innsiden av rommet.

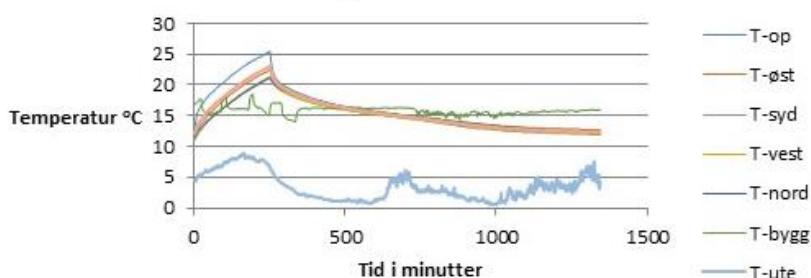
Termiske masser i rommet:

Nederst i figur 25 vises oppvarmings- og nedkjølings-forløpet for panelovnen med glassflate med betong på stativ. Det figuren viser er at ovnen bruker enda lengre tid på å varme opp rommet enn uten betong i rommet. Den bruker 300 minutter på å varme opp rommet fra 12,1 °C til 23 °C. Nederst i figur 27 er et plot av energiforbruket til panelovnen med betong i rommet. Ovnene bruker 4,689 kWh på å varme opp rommet, noe som gir et forbruk på 0,43 kWh/ °C. Det er mye energi i forhold til de andre løsningene. Den holder forsøksrommet innenfor komfort-temperatur i 51 minutter etter at effekten er koblet ut. Temperaturen inne i forsøksrommet ser ikke ut til å påvirkes av endringer i temperaturen på utsiden av rommet.

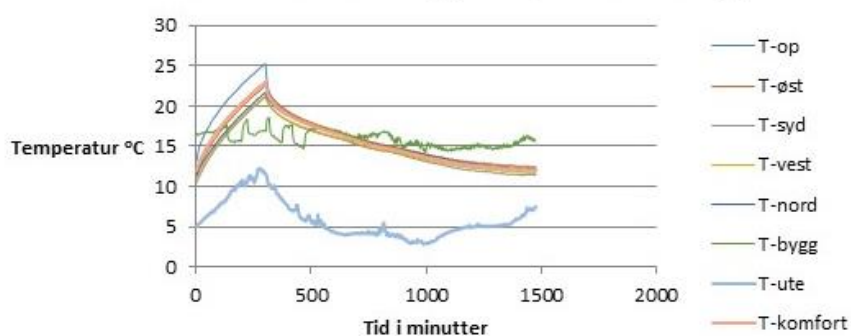
Øverst i figur 26 vises temperaturutviklingen i forsøksrommet for panelovnen med glassflate og olivin-elementet på stativ. Ovnene bruker kortere tid på å varme opp rommet, delvis fordi forsøket starter på en høyere temperatur. Ovnene bruker 233 min på å gå fra 12,9 °C til 23 °C. Oppvarmingsforløpet varte over lenger tid enn for de andre ovnene. Ovnene sto på i 10 minutter etter at 23 °C var nådd. Det førte til en slutttemperatur enn for de andre ovnene på 23,33 °C. Øverst i figur 28 vises et plot av energiforbruket. Det viser at ovnen bruker 3,847 kWh på å varme opp rommet. Det tilsvarer et forbruk på 0,37 kWh/ °C under oppvarmingsforløpet. Det er et relativt høyt forbruk av energi. Til gjengjeld holder forsøksrommet seg innenfor komfort-temperatur i 66 min etter at effekten er koblet ut. På tross av store svingninger i temperatur på utsiden av forsøksrommet, observeres en jevn nedkjøling uten noen påvirkning fra utsiden av forsøksrommet.

Nederst i figur 26 vises temperaturforløpet for panelovnen med glassflate og olivin-elementet, ved 4 timers oppvarming av elementet. Figur 26 viser at temperaturutviklingen er påvirket av termostaten til ovnen. Lufttemperaturen veksler mellom 25 °C og 22 °C, komfort-temperatur veksler mellom 22 °C og 23 °C. Det er også mulig å se at nedkjølingen foregår senere. Rommet holdes innenfor komfort-temperatur i 168 min. Det er 255 % lenger enn når panelovnen kun for lade ovnen i 10 min etter at 23 °C er oppnådd. Selv om termostaten i rommet utenfor forsøksrommet slår inn flere ganger (grønn kurve), så er ikke temperaturen på innsiden av forsøksrommet påvirket av utendørstemperaturene. Nederst i figur 28 legger en merke til at energiforbruket for å varme opp rommet over 4 timer er på 3,5 kWh. Forbruket innenfor stabile temperaturer er på 0,51kWh/h, regnet ut med formel 9. Den bruker 1,85 kWh på å varme opp rommet fra 15,6 °C til 22,3 °C. Det gir et forbruk under oppvarming på 0,28 kWh/ °C. Det er ca. 76 % av forbruket som ovnen leverer opp til 23,3 °C fra 12,9 °C med samme termiske masse.

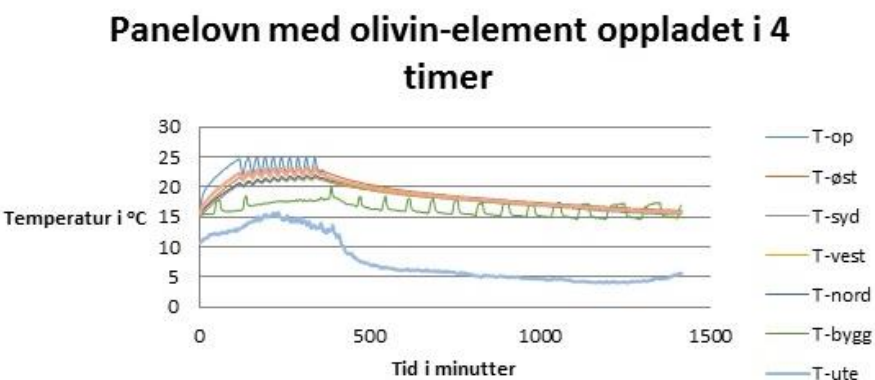
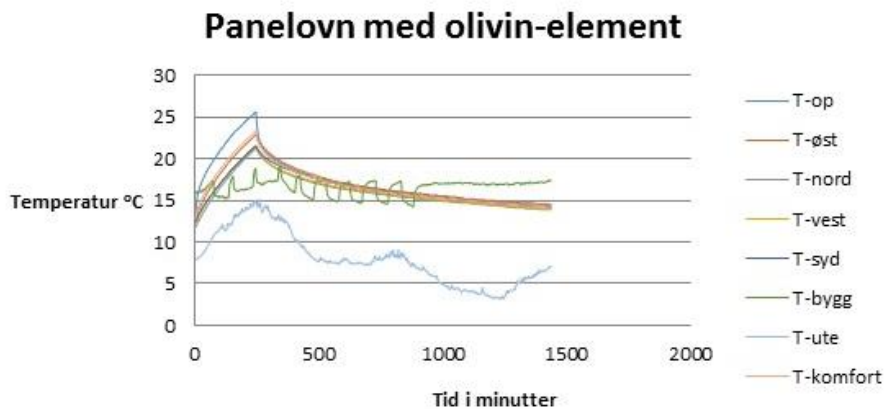
Temperaturforløp til panelovn med glassflate



Panelovn med betong temperaturforløp

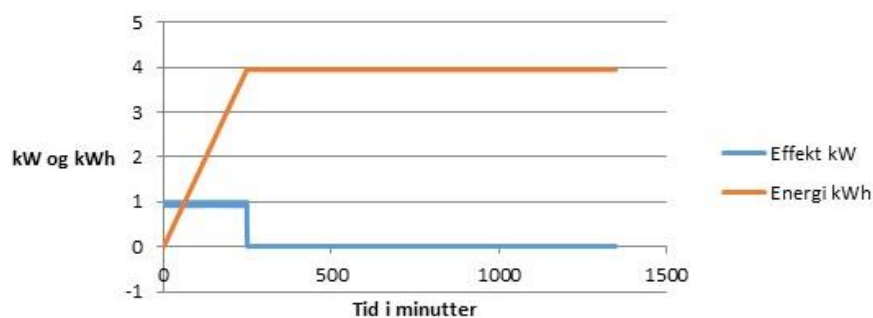


Figur 25: Oversikt over temperaturmålinger for panelovn med glassflate. Øverst uten termisk masse, nederst med betong-blokken på stativ. Temperaturene i rommet er målt henholdsvis midt i rommet (T-op), langs østre vegg(T-øst), langs sydlig vegg(T-syd), langs vestre vegg (T-vest), langs nordre vegg(T-nord), i rommet utenfor forsøksrommet (T-bygg), utendørstemperatur (T-ute). T-komfort er snitttemperatur av T-op, T-øst og T-vest. Oppløsningen er på 1 minutt per måling.

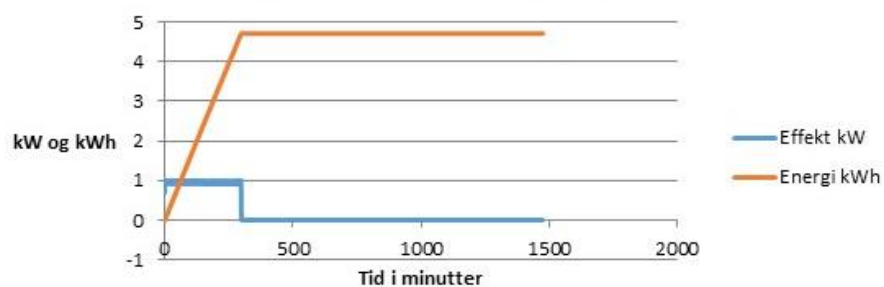


Figur 26: Oversikt over temperaturmålinger for panelovn med glassflate med olivin. Øverst følger en oppvarming til 23, før effekten kobles ut. Nederst følger et oppvarmingsforløp på 4 timer med samme masse. Temperaturene i rommet er målt henholdsvis midt i rommet (T-op), langs østre vegg(T-øst), langs sydlig vegg(T-syd), langs vestre vegg (T-vest), langs nordre vegg(T-nord), i rommet utenfor forsøksrommet (T-bygg), utendørstemperatur (T-ute). T-komfort er snitttemperatur av T-op, T-øst og T-vest. Oppløsningen er på 1 minutt per måling.

Energi i kWh og effekt i kW for panelovnen

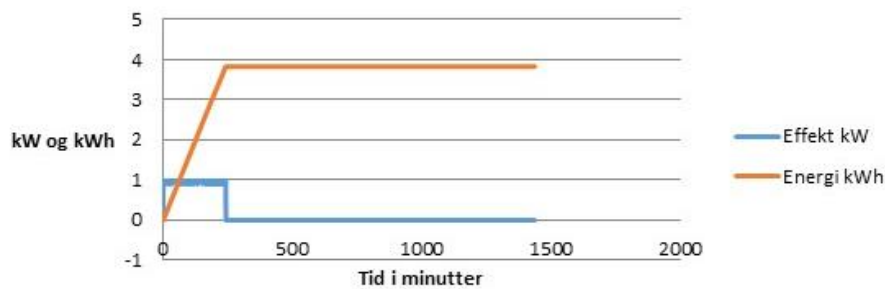


Energiforbruk i kWh og effekt i kW for panelovn med betong

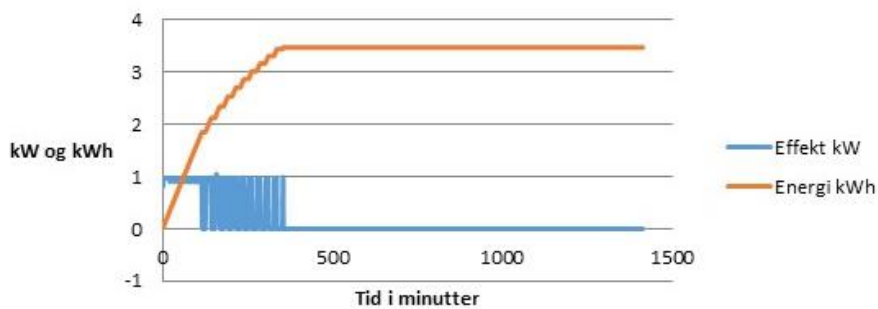


Figur 27: Viser oversikt over energi- og effekt-forbruket for panelovnen med glasspanel uten termisk masse, og med betong på stativ. Rød linje viser akkumulert energi i kWh, blå linje representerer effekten ovnen trekker.

Effekt og energiforbruk for panelovn med olivinstein



Energi- og effekt-forbruk for panelovn ved lading av olivinstein i 4 timer



Figur 28: Viser oversikt over energi- og effekt-forbruket for panelovnen med olivin øverst kuttes effekten til ovnen når 23 °C er nådd, nederst er det en oppladning over 4 timer. Rød linje viser akkumulert energi i kWh, blå linje representerer effekten ovnen trekker.

4.1.4 Dimplex Quantum QM-100

Dimplex Quantum QM-100 er undersøkt ved å følge det forhåndsinnstilte programmet Home All Day. Det var ikke noen mulighet for å kjøre et likt oppvarmingsforløp som for de andre ovnene, der ovnen kjøres på

maksimum effekt til 23 °C er nådd. Ovnene har derfor først stått på over 2 døgn for å se hvordan ovnene presterer på Home All Day programmet.

Øverst i figur 29 vises temperaturforløpet for ovnen over to døgn med oppvarming, deretter følger et døgn med nedkjøling. Figur 29 viser at rommet holder veldig jevn temperatur, selv om temperaturen på utsiden varierer med 15 °C under oppvarmingsfasen. Oppvarmingen går i hakk, og det går ca. 20 timer før temperaturen stabiliserer seg. I figur 31 øverst vises effekten som tilføres ovnen. Ovnene blir slått av i lange perioder under oppvarmingsforløpet, fordi ovnene kun kan lade magnetittsteinene som utgjør varmelageret utenfor peak-periodene. Lengste periode ovnen er av under oppvarmingsforløpet er på 19 timer. Ved oppnådd satt temperatur bruker ovnen 0,26 kWh/h på å opprettholde varmen i rommet.

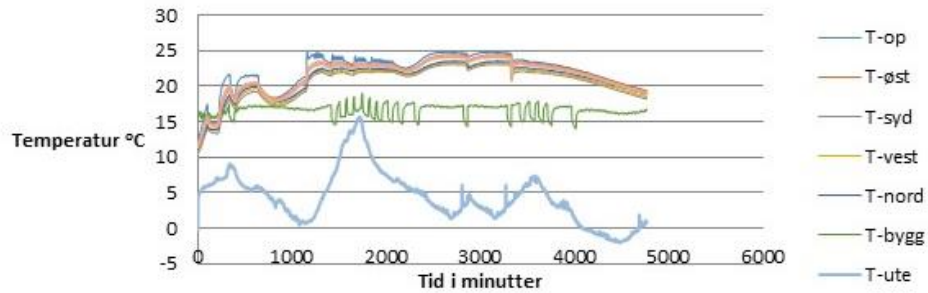
I figur 29 nederst er ovnen stilt inn på Holiday-modus. Her synker temperaturen jevnt, før modusen avsluttes, og rommet varmes opp raskt igjen. Det er behov for store justeringer i rommet utenfor forsøksrommet (grønn linje, T-bygg), men det påvirker ikke temperaturen i forsøksrommet. En ser ingen knekk i kurven som følge av store temperatursvingninger utendørs. Ved å senke temperaturen i rommet bruker ovnen kun 0,18 kWh/h i feriemodus. Noe som er 31 % av mindre enn ovnen bruker innstilt på 21 °C.

Termiske masser:

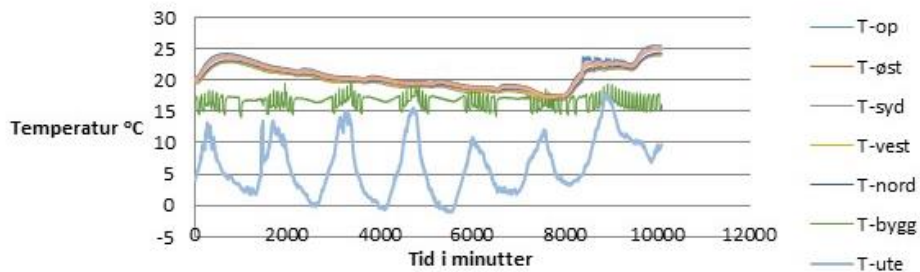
Øverst i figur 30 øverst vises temperaturforløpet for ovnen med betong i rommet. Her starter oppvarmingen på 17 °C og ikke 11,5 °C som den gjør med bare luft første gang. Den varmer derfor opp rommet langt raskere. Etter 4 timer og 30 min er rommet stabilt. Da holder temperaturen seg også jevn. Rommet holder komfort-temperatur lenger med betong i rommet, enn uten termisk masse i rommet. Ovnene holder rommet innenfor komfort-temperatur i 32 timer etter utkoblet effekt. Forsøket ble avsluttet på 20,2 °C. Øverst i figur 32, vises det hvordan effekten er slått av i første nedkjølingsperiode styrt av ovnen i 8 timer. Forbruket uten inngrep utenfra, som å koble ut effekten, er på 0,61 kWh/h. Det kan tyde på at energiforbruket øker med tilført termisk masse i rommet.

Nederst i figur 30 vises rommets temperaturforløp med olivin inntil ovnen. Her starter oppvarmingen ved 15,4 °C. Oppvarmingen er relativt rask, etter 240 min er rommet innenfor 22 °C, og holdes stabilt her med unntak av en liten bunn. Denne bunnen er på 1,5 °C, og varer i 2 timer. Ovnene holder komfort-temperatur i 35 timer etter avslått effekt. Nederst i figur 32, ser en at effekten er slått ut i lange perioder, og at temperaturen i figur 30, synker sakte på tross av det. Energiforbruket til ovnen er på 0,53 kWh/h uten inngrep utenfra. Knekkene en ser i kurven på temperaturforløpet skyldes at tilført effekt til ovnen, kobles ut her. Det virker ikke som om forsøket påvirkes av forhold utenfor forsøksrommet.

Quantum QM-100 Home all day temperaturkurve

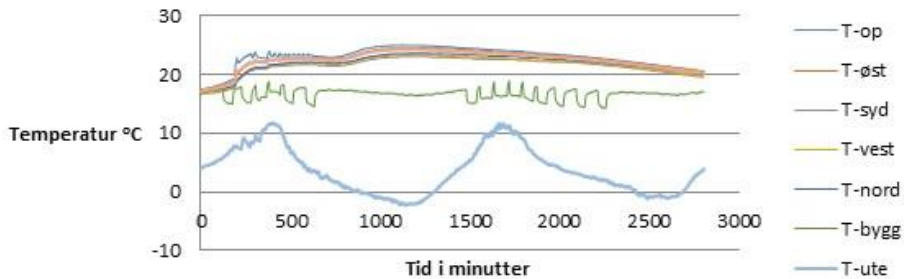


Quantum QM-100 i feriemodus stilt inn på 17 °C

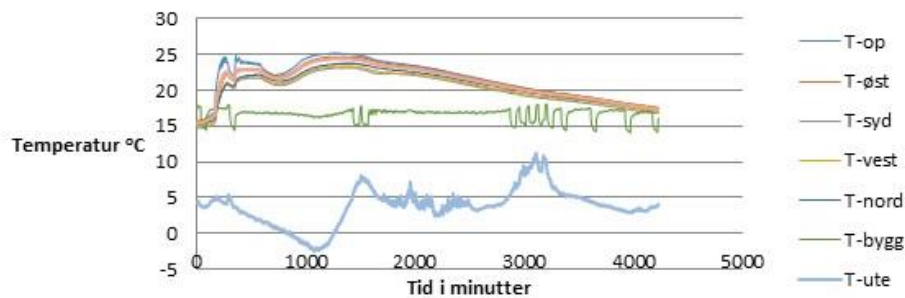


Figur 29: Oversikt over temperaturmålinger for Quantum QM-100 på Home All Day setting med oppladning over 2 døgn øverst. Nederst er ovnen stilt inn på 17 °C i en uke. Temperaturene i rommet er målt henholdsvis midt i rommet (T-op), langs østre vegg(T-øst), langs sydlig vegg(T-syd), langs vestre vegg (T-vest), langs nordre vegg(T-nord), i rommet utenfor forsøksrommet (T-bygg), utendørstemperatur (T-ute). T-komfort er snitt-temperatur av T-op, T-øst og T-vest. Oppløsningen er på 1 minutt per måling.

QM-100 Home all day setting + 4h boost og betong i rommet

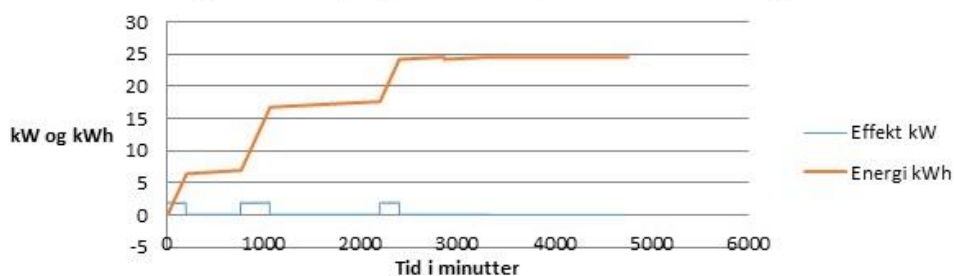


Temperaturforløp QM-100 Home all day + 4hr boost med olivinstein

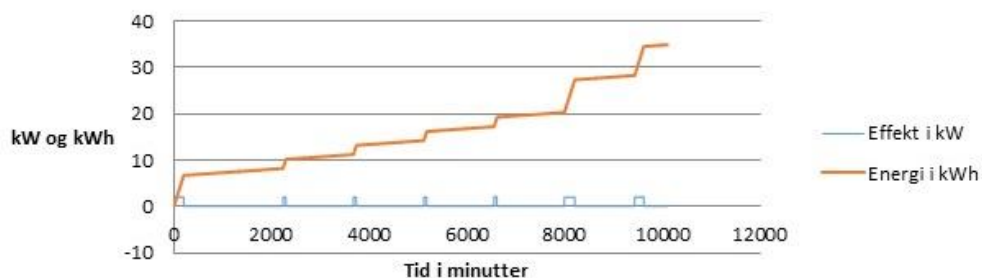


Figur 30: Oversikt over temperaturmålinger for Quantum QM-100 på Home All Day setting med betong inntil ovnen øverst, og med olivin inntil ovnen nederst. Temperaturene i rommet er målt henholdsvis midt i rommet (T-op), langs østre vegg(T-øst), langs sydlig vegg(T-syd), langs vestre vegg (T-vest), langs nordre vegg(T-nord), i rommet utenfor forsøksrommet (T-bygg), utendørstemperatur (T-ute). T-komfort er snitt-temperatur av T-op, T-øst og T-vest. Oppløsningen er på 1 minutt per måling.

Energi- og effektforbruk for QM-100 ved to døgns bruk, og etterfølgende utladning

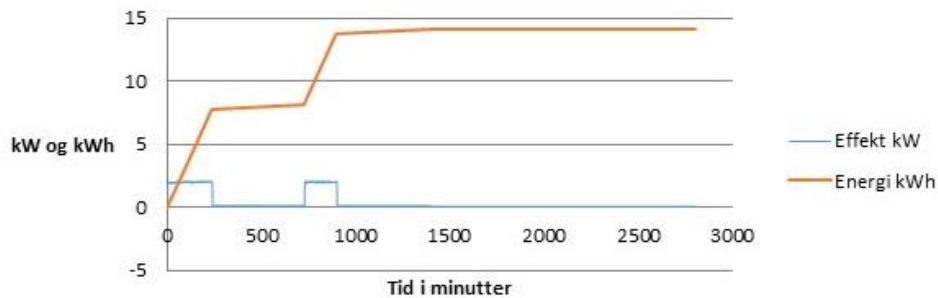


Energi- og effekt-forbruk over 7 dager med QM-100

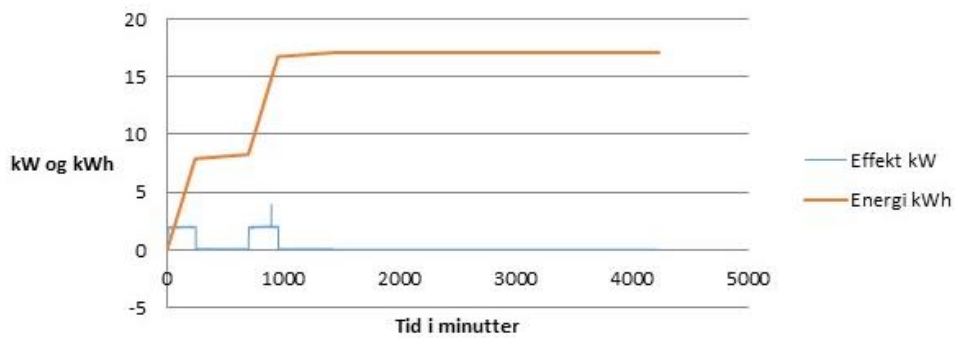


Figur 31: Viser oversikten over energi- og effekt-forbruket for QM-100 uten termisk masse. Øverst vises forbruket for ovnen ved 2 døgns oppvarming og påfølgende nedkjøling innstilt på 21 °C. Nederst vises forbruket over en uke innstilt på feriemodus og 17 °C. Den blå linjen representerer effekt-forbruket i kW, den røde linjen viser akkumulert energiforbruk i kWh.

Effekt- og energi-forbruk for QM-100 med betong i rommet



Effekt og energiforbruk QM-100 med olivinstein



Figur 32: Viser oversikten over energi- og effekt-forbruket for QM-100 med termisk masse. Øverst vises forbruket for ovns oppvarming stilt inn på 21 °C med betong, og påfølgende nedkjøling. Nederst vises forbruket med olivinelementet i rommet. Den blå linjen representerer effekt-forbruket i kW, den røde linjen viser akkumulert energiforbruk i kWh.

4.2 Sammenstilling av resultatene fra forsøket på SKP

Sammenstilling av tidskonstanter for alle forsøkene					
		Komfort		Komfort	
Ovntype	Termisk masse	*1	*2	*3	*4
Gulvovn	Luft	19	4	9	1,8
Gulvovn	Betong	23	3	19	2,13
Gulvovn	Olivin	23	3	16	2,01
Panelovn	Luft	63	7	34	2,83
Panelovn	Betong	68	8	51	3,22
Panelovn	Olivin	63	9	66	2,79
Panelovn 2	Luft	55	7	31	2,52
Panelovn 2	Betong	55	9	67	2,49
Panelovn 2	Olivin	52	8	54	2,39
Panelovn #	Olivin #	43	29	168	2,19
Oljefylt radiator	Luft	41	9	50	1,86
Oljefylt radiator	Betong	29	11	43	1,74
Oljefylt radiator	Olivin	27	16	47	1,99
Oljefylt radiator	Betong og olivin	27	16	67	1,41
Oljefylt radiator 2	Luft	22	9	34	1,19
Oljefylt radiator 2	Betong	24	11	33	1,61
Oljefylt radiator 2	Olivin	28	17	61	2
QM-100	Luft	**	276	1677	10,43
QM-100	Betong	**	930	1905*	12,12
QM-100	Olivin	**	789	2100	2,82

Tabell 1: Sammenstilling av resultatene for de ulike ovnene. *1 er tidsdifferanse for oppvarming fra 20 °C til 23 °C i minutter, og *2 er tidsdifferanse for nedkjøling fra 23 °C til 20 °C i minutter. *3 representerer hvor lenge rommet holdt seg over 20 °C etter at effekten tilført ovnen ble slått av. *4 er energiforbruket i kWh til ovnen fra 17 °C til 23 °C. Tall i rødt, er tall det er knyttet tvil i riktigheten til pga. feil i metode, 66 min, eller at termostaten skaper problemer for utregningen av tidsdifferansen for oppvarming de øvrige verdiene. Verdiene merket med # hører til panelovnen med oppladning av olivin over 4 timer. Stjernene ** markerer at det ikke er mulig å finne en sammenligningsverdi, grunnet at forsøkene er utført med egen fremgangsmåte.

I tabell 1 fremgår det at det er en forskjell i tidsdifferanse for oppvarming over to forsøk. Det er gjort gjentak for å undersøke om forsøket er reproducerbart. Tidsdifferansen for nedkjøling endrer seg ikke med mer enn et minutt for panelovnen, og bare et minutt et sted for radiatoren. Det er større forskjeller under oppvarmingen, med opptil 19 min forskjell mellom oljefylt radiator med luft første og andre gang. Resultatene fra testingen av QM-100 er ikke direkte sammenlignbare med de andre ovnene fordi forsøkene

er utført med egen fremgangsmåte. Sammenlignbare verdier er nedkjølingstid, og tidsdifferanse for nedkjøling. Tabell 1 gir en oversikt over energiforbruk i et lite område mellom 17 °C og 23 °C. I dette området er bruker radiatoren sammen med betong og olivin minst energi. Ellers er gulvovnen mest effektiv. Tabellen forteller ikke noe om energi-effektiviteten utenfor dette området. Ser en kun på området innenfor komfort-temperatur blir energiforbruket kun mulig å sammenligne for to ovner. Det gir oversikten som følger i tabell 2.

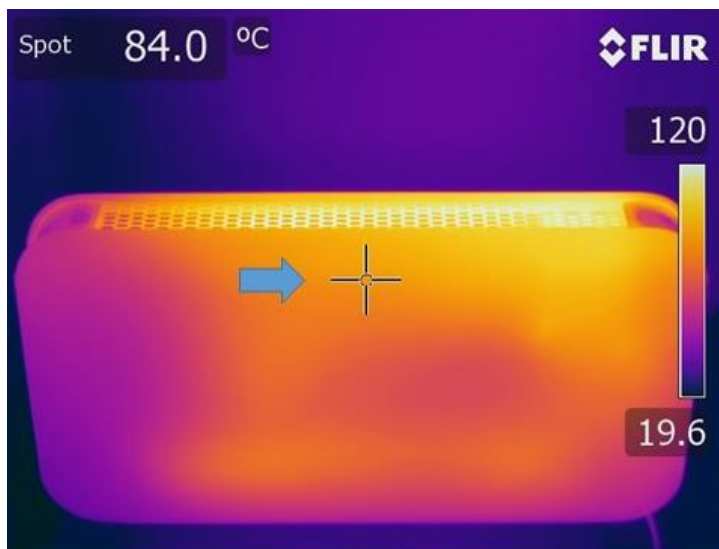
Ovnstype	Termisk masse	Energiforbruk (kWh/h)
Panelovn	Luft	0,59
Panelovn	Olivin	0,51
QM-100	Luft	0,26
QM-100	Betong	0,61
QM-100	Olivin	0,53
QM-100	Luft(feriemodus)	0,18

Tabell 2: Oversikt over energiforbruk for ovnene som ble testet over en lengre periode. Fra fire timer og opptil en uke. Energiforbruk er gitt som energiforbruk innenfor komfort-temperatur uten inngrep utenfra.

Tabell 2 viser at Quantum QM-100 bruker over dobbelt så lite strøm som panelovnen under like forhold. QM-100 bruker opp til 2,6 ganger mer energi med en ekstra termisk masse i rommet enn med bare luft i rommet.

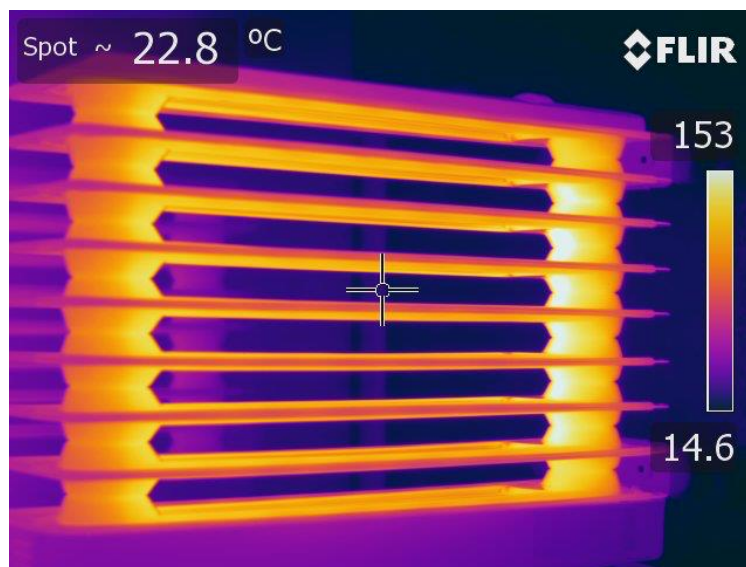
4.3 Sammenligning av ovnene ved bruk av infrarødt kamera

I tillegg til å sammenligne ovnene ved hjelp av logging av temperatur i rommet for å se på temperaturfordelingen i rommet, er ovnens overflate tatt bilde av med et infrarødt kamera. Det er gjort for å se på temperaturfordelingen på overflaten til de ulike ovnene.



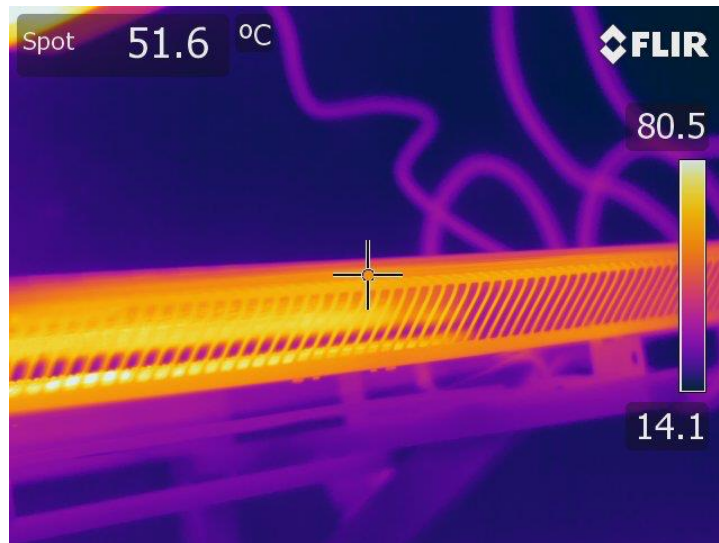
Figur 33: Viser temperaturfordelingen på overflaten gulvovnen under oppvarming. Temperaturskalaen befinner seg til høyre i bildet, og pilen peker på området som holder 84 °C.

Figur 33 viser at temperaturfordelingen ikke er jevnt fordelt over overflaten til ovnen. Rillene blir varmest og holder en temperatur på 120 °C. I midten av ovnen er temperaturen rundt 80 °C, mens den ikke er mer enn 20 °C langs kantene.



Figur 34: Viser temperaturfordelingen på overflaten til den oljefylte radiatoren, under oppvarmingsprosessen etter 15 min. Temperaturskalaen vises til høyre.

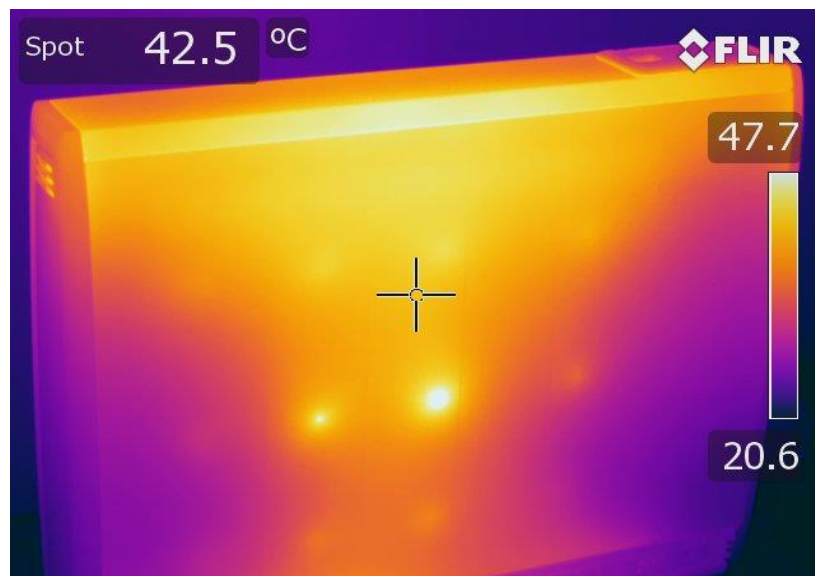
Figur 34 viser at temperaturfordelingen er jevn på finnene, med temperaturer rett rundt 153 °C, som er maksimal temperatur ifølge skalaen. Nederst i bildet vises plastdekselet som en kan berøre for å flytte ovnen.



Figur 35: Viser temperaturfordeling over rillene til panelovnen med glassoverflate under oppvarming. Temperaturskala til høyre i bildet.

Det holder en temperatur på ca. 15 °C.

Figur 35 viser temperaturfordelingen på rillene til panelovnen med glassflate. Glass reflekterer infrarød stråling, derfor vises rillene her. Rillene er ikke like varme som hos gulvovnen. Høyeste temperatur er 80 °C. Mesteparten av overflaten til rillene holder 50 °C.



Figur 36: Temperaturfordelingen på overflaten av Quantum QM-100 under oppvarming. Temperaturskalaen til høyre i bildet.

Figur 36 viser at det er en ujevn temperaturfordeling på overflaten av ovnen. Ovnen er varmere i midten og i toppen av ovnen, enn nede langs kantene. Temperaturen er lav på overflaten av ovnen, og forskjellen mellom de kalde områdene og varme områdene er på kun 27 °C.



Figur 37: Viser temperaturfordelingen til ovnens varmelager, før ovnen kunne demonteres. Til høyre i bildet er temperaturskalaen, og deler av elektronikken.

Figur 37 viser at innsiden av ovnen er langt varmere enn overflaten. Innsiden av ovnen holder 160 °C, overflaten holder 47 °C. Elektronikken til høyre i bildet er ikke varmere enn rett rundt 18 °C.

4.4 Økonomisk analyse av Dimplex Quantum QM-100

I dette delkapittelet beregnes et estimat av investeringskostnaden forbundet med Dimplex Quantum QM-100. Analysen tar utgangspunkt i full pris om ovnen skulle vært kjøpt i nettbutikk [65], og frakt-kostander for ovnen brukt i forsøket, er brukt som utgangspunkt. Det er beregnet at prisen på et pund er i snitt ca. 11,8 NOK (dagens valutakurs 20.04.2015), og at nettpriis vil holde seg på 550 pund over tid. Det er også regnet med installeringskostnader tilsvarende en timelønn på 400 NOK/time for installatør, og 39 NOK per støpsel. Støpsel følger ikke med, og må kjøpes separat. Videre er det beregnet en pris ut fra at forbruker bidrar med en sum, og en tredjepart med en annen sum for å realisere investeringen. Utrengningen er foretatt med og uten kvantumsrabatt satt til 30 % (Personlig samtale, Bernt Arild Bremdal, NCE Smart Energy Markets). Hvor god investeringen er for forbrukeren, er satt opp med utgangspunkt i at ovnen må stå på hele tiden fra oktober til og med mars. Det er antatt at prisen på strøm er fast 1 NOK/kWh. Fra forsøkene er det et spart forbruk på ca. 0,3 kWh/h for QM-100 mot panelovnen med glassflate. Det er videre antatt at kronen taper seg med 5 % hvert år for å finne en nåverdi for investeringen etter 10 år. Investeringskalkyle for tredjeparten vil være forskjellig alt etter hvilken bedrift det er som tar investeringen.

1 MW	Ovner + frakt 1 ovn	500	5350000	stk pris	745000	stk pris	7,7 MWh
	Installering timekostnad		400000		400000		
	Installering støpselkostnad		19500		19500		
	Total kostnad		5769500	11539	1164500	2329	
2 MW	Ovner + frakt 1 ovn	1000	10700000		1490000		15,4 MWh
	Installering timekostnad		800000		800000		
	Installering støpselkostnad		39000		39000		
	Total kostnad		11539000	11539	2329000	2329	
3 MW	Ovner + frakt 1 ovn	1500	16050000		2235000		23,1 MWh
	Installering timekostnad		1200000		1200000		
	Installering støpselkostnad		58500		58500		
	Total kostnad		17308500	11539	3493500	2329	
4 MW	Ovner + frakt 1 ovn	2000	21400000		2980000		30,8 MWh
	Installering timekostnad		1600000		1600000		
	Installering støpselkostnad		78000		78000		
	Total kostnad		23078000	11539	4658000	2329	
5 MW	Ovner + frakt 1 ovn	2500	26750000		3725000		38,5 MWh
	Installering timekostnad		2000000		2000000		
	Installering støpselkostnad		97500		97500		
	Total kostnad		28847500	11539	5822500	2329	

Tabell 3: 1* er fleksibilitet i MW ved denne investeringen. 2* viser oversikt over kostnadene. 3* viser antall ovner som investeringen utgjør. 4* Viser kostnad uten noen form for rabatt, og høy fraktpris. 5* viser total stk. pris. 6* utgjør kostnad med 30% kvantumsrabatt og 6000 kroner dekket av forbruker. 7* stk. pris for tredjepart. 8* viser lagerkapasitet i MWh.

Tabellen viser en oversikt over kostnadene for et gitt utvalg av investeringsmuligheter. Det er valgt å se på kostnadene ved å flytte 1-5 MW bort fra toppene ved å kjøpe inn Dimplex Quantum QM-100 ovner fra Glen Dimplex. Ovnen er antatt kjøpt fra [65] til 550 pund med en fraktpris på 4200 NOK inkludert moms og toll. Det gir en pris på ca. 10700 NOK. Det er antatt at det er mulig å spare 30 % i kvantumsrabatt for fraktkostnadene, og innkjøpspris på ovnene. Denne kvantumsrabatten er antatt lik om antallet er 500 eller 2500 ovner. Det gir lik pris per ovn uansett om en kjøper 500 ovner eller 2500 ovner. Det er antatt at en forbruker vil kunne dekke 6000 NOK av investeringen. Den resterende investeringskostnaden vil måtte dekkes av en tredjepart. Det vil kunne være et nettselskap eller en kraftprodusent. Energilager-kapasiteten i MWh er oppgitt for å kunne sammenligne med energilager-kapasitet til konkurrerende løsninger. Det er tatt utgangspunkt i at ovnene vil vare i minst 10 år, fordi oppgitt garanti fra produsent er 10 år [64].

Dersom ovnen er i bruk gjennom hele perioden fra oktober til og med mars (6 måneder) antas det at det vil være mulig for en forbruker å spare 1310 kWh. Til en antatt pris på 1 NOK/kWh så får en regnestykket i tabell 3 for forbrukeren over 10 år.

Investeringskalkyle forbruker	NOK
Investeringskostnad	6000
Sparing År	
0	1310
1	1248
2	1188
3	1132
4	1078
5	1026
6	978
7	931,0
8	887
9	844
10	804
Nåverdi	11425
Spare-rente	9 %

Tabell 4: Viser investeringskalkyle for en forbruker over 10 år. En antar at forbrukeren investerer 6000 NOK, at prisen holder seg på 1 NOK/kWh, og at det er mulig å spare 0,3 kWh/h i forhold til alternativene over 10 år.

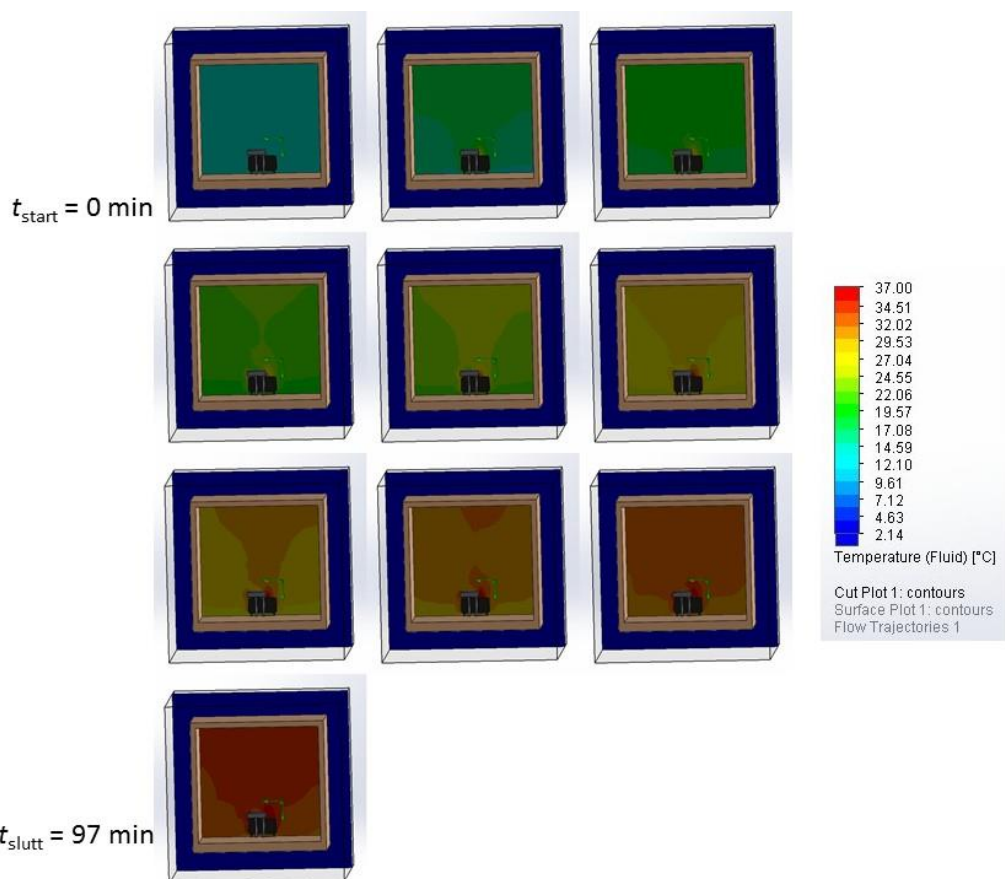
Tabell 4 viser investeringskalkylen for en forbruker om forbrukeren investerer 6000 NOK i ovnen som en oppstartskostnad. Det er antatt ut fra forsøkene, at ovnen vil kunne spare 0,3 kWh/h opp mot konkurrerende alternativer i 10 år fremover. Antatt strømpris er 1 NOK/kWh. Videre er det antatt en avskrivningsrente på 5 %. Det gir en rentegevinst for forbrukeren på 9 %. Hvor god investeringen er for tredjeparten avhenger av hvor store kostnader de har til investering i selve ovnen, i forhold til hvor mye forbrukeren betaler. I tillegg vil KILE-kostnader (Kvalitetsjusterte Inntektsrammer ved Ikke levert Energi) [73], som kan spares inn ved å stabilisere nettet spille inn, og alternativ kostnad ved stabilisering av nettet. Det vil være forskjellig fra bedrift til bedrift, og er derfor ikke nevnt i større detalj enn ved kostnad på alternative løsninger for lagring.

4.5 Resultater fra simuleringen

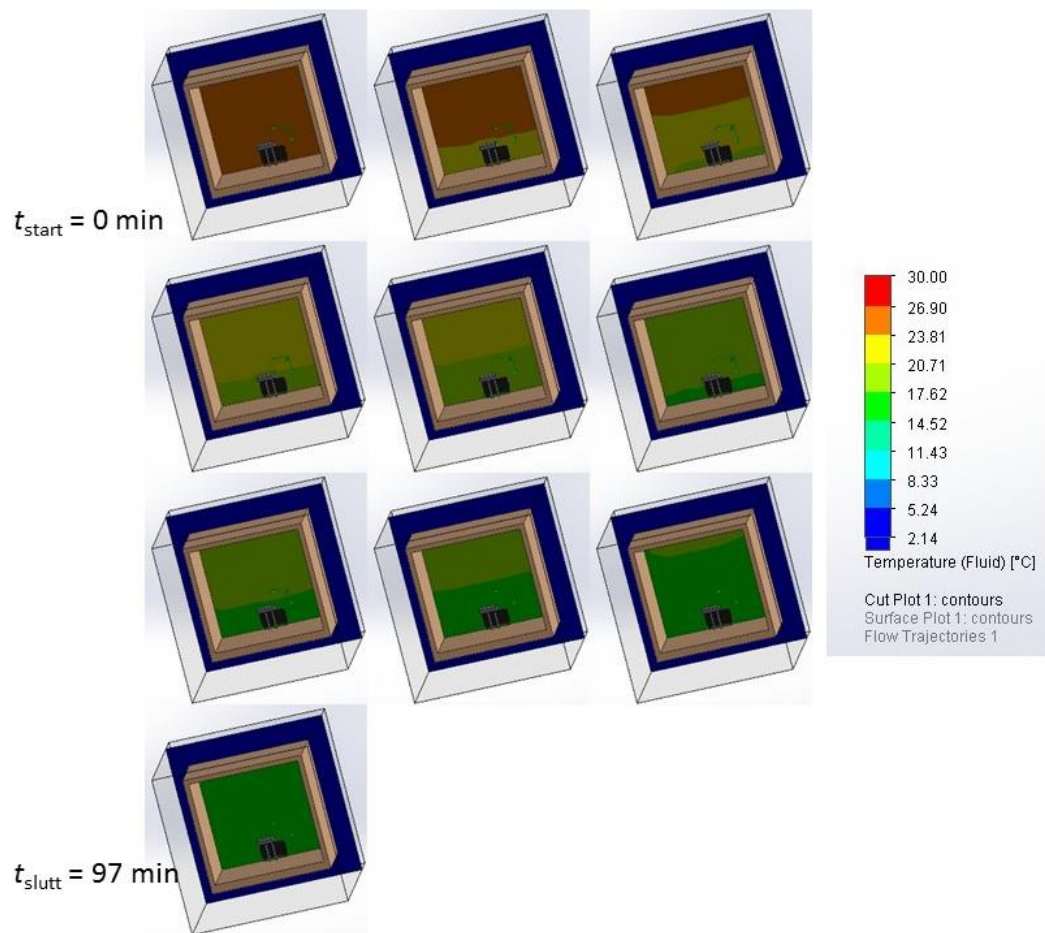
Resultater fra simuleringen vises her som oppvarmingsforløpet figur 38, og nedkjølingsforløp figur 39. Det var nødvendig å dele simuleringen opp i en oppvarmingsdel og en nedkjølingsdel, grunnet begrensninger i SolidWorks, og PC-ene som var tilgjengelig under arbeidet med oppgaven.

Innstillingene brukt for oppvarming ble etter flere iterasjoner bestemt til: Fast utendørs-temperatur satt til 2 °C. Fluid-subdomain med alle innervegger markert, luft valgt som mediet, og 14 °C valgt som temperatur på luften, og en overflate-temperatur på ovnen på 100 °C. U-verdi til ytterveggen er satt til 0,1 W/m²K samme verdi som for nedkjøling.

Ovnen varmer opp rommet dobbelt så raskt under simulering som under forsøkene på SKP. Temperaturen ender på 37 °C under simulering. Tilsvarende temperatur er 27 °C i forsøket på SKP.



Figur 38: Viser oppvarmingsforløpet ved simulering i SolidWorks. Starter ved tid lik 0 min, og fortsetter i tids-steg på 9,7 min fra venstre mot høyre ned til simuleringen fullføres etter 97 min. Rommet starter på 14 °C, og ender på 37 °C.



Figur 39: Figuren viser resultatet fra simuleringen av nedkjølingsforløpet. Det starter ved tid lik 0 min på 27 °C stabilt i hele rommet. Nedkjølingen fortsetter med tidsteg på 9,7 min fra venstre mot høyre til 97 min er nådd.

For nedkjølingen er utendørstemperatur uendret fra oppvarmingen. Fluid subdomain er satt til 27 °C som er luft-temperaturen observert på lab. Ovn er slått av ved å velge suppress volume-source. U-verdien er satt til 0,1 W/m²K for yttervegg, og innervegg. Veggtemperatur er satt til 17 grader.

Nedkjølingsforløpet samsvarer bedre med resultatene fra forsøkene på SKP. Ovn starter med jevn temperatur på 27 °C, og ender på en temperatur på 17,6 °C. I forsøkene på SKP er temperaturen også 17,6 °C for komfort-temperatur- Luft-temperaturen som er temperaturene som bør sammenlignes er 17,8 °C.

5 Diskusjon

I denne oppgaven undersøkes fire forskjellige ovner for å bestemme hvilken type ovn som vil være best egnet for peak shaving i Norge. Først diskuteres forsøksoppsettet og forbedringer foreslås, deretter vurderes fremgangsmåten. Det vil bli gitt forslag til en alternativ metode, om et liknende forsøk ønskes gjennomført ved en senere anledning. I tillegg vil det bli gitt en vurdering av simuleringen, og forslag til videre arbeid. Til slutt vil de ulike ovnene vurderes med tanke på peak shaving, og forslag til forbedringer vil bli gitt.

5.1 Vurdering av forsøkene i forsøksrommet.

Det har det vært nødvendig å utvikle en egen metode, for å finne ut hvor lenge ovnene er i stand til å holde oppe komfort-temperatur i rommet, etter at effekten til ovnene er koblet ut. Flere forslag til forbedring av metode har derfor dukket opp underveis i testperioden, og vil bli presentert i denne delen.

5.1.1 Vurdering av utstyret brukt i oppgaven.

I dette forsøket er det brukt utstyr som var tilgjengelig ved NMBU. Det er ikke kjøpt inn noe nytt utstyr utover ovnene som ble brukt i forsøket. Det medfører at ikke alt utstyret er optimalt for forsøket. For å få en best mulig testing av ovnene bør forsøkene designes med tanke på å kunne styre alle forhold som påvirker forsøkene. Skal lignende forsøk utføres ved en senere anledning anbefales derfor følgende utstyrsoppdateringer:

Forsøksrom:

Det bør være et forsøksrom der en har full kontroll på U-verdiene i vegger, tak og gulv. For å kunne styre varmebehov bør det også være mulig å bestemme temperatur utenfor alle vegger, tak og gulv. Det ville gjort det mulig å analysere energiforbruk, og ovnenes oppførsel ved U-verdier tilsvarende gjennomsnittlige verdier for boliger, med full kontroll på alle forsøksparametere. En slik oppdatering av utstyr vil være en stor investering, og var derfor ikke mulig å få til i denne masteroppgave, da økonomisk støtte til forsøket er begrenset.

Temperaturmålere:

Temperaturen kunne også vært overvåket med et instrument spesiallaget for å måle gjennomsnittstemperaturen i rommet. Det anbefales derfor å anskaffe et globetermometer [42], som måler gjennomsnittstemperatur i hele rommet. Det vil kunne måle komfort-temperatur bedre enn snittet av tre punkt-temperaturer. En enda enklere forbedring kunne vært å benytte seg av alle termistorene for et

gjennomsnitt av hele rommet. Det ble ikke gjort da det var tenkt å bruke to av termistorene til overvåking av temperatur på overflaten til ovnen, og den termiske massen. Det ble kun gjort på et av forsøkene, og blir ikke presentert i oppgaven, fordi temperaturen ble for høy for termistorene. Videre forsøk ble derfor gjennomført med snittet av de tre temperaturene (T-op, T-øst, og T-vest), for å sikre at termistorene som ikke hadde vært påvirket av høye temperaturer tidligere, skulle bestemme gjennomsnittet.

Loggeprogramvare:

Labview var i stand til å logge temperatur på minuttbasis, og gjorde det i tillegg mulig å overvåke oppvarmingsfasen hvert sekund. Programmet fungerte derfor bra til oppgaven, med unntak av justeringer som måtte gjennomføres underveis. I dette forsøket så var det nødvendig å lage fire forskjellige versjoner av loggeprogrammet for å sørge for at det var raskt nok til at PC-en kunne utføre alle oppgavene i programmet. Det løste seg i stor grad ved å bytte ut en aktiv USB-kabel på 5 meter, med en kortere passiv USB-kabel på 3 meter.

Det anbefales derfor til videre forsøk å sette av tid til å lage et logge-program som er i stand til å logge raskt nok allerede før forsøkene settes i gang. Det var vanskelig å vite på forhånd hva som kom til å bli utfordringene for programmet, og det vil kunne være tilfelle for senere forsøk også. Det viktigste punktet å ta med videre er derfor å sette av nok tid til forsøkene, slik at eventuelle forsinkelser ikke blir avgjørende for resten av prosessen. Det finnes også alternative loggesystemer en kan benytte som for eksempel Raspberry Pi [74]. Det anbefales å finne den programvaren som passer best til det utstyret en ønsker å benytte i forsøkene.

Varmekamera/ Infrarødt kamera:

Varmekameraet benyttet i forsøket var nyttig for å vise hvordan oppvarmingsforløpet til de ulike ovnene artet seg. Det er mulig å utnytte varmekameraet enda bedre ved å bruke det i et rom som tillater kameraet å stå på et stativ å ta bilder i en tidsserie. Rommet var i dette tilfellet for lite, da nærgrensen gjorde det vanskelig å fokusere automatisk. Det var derfor nødvendig med manuell fokus, og det ville ikke vært mulig å få til uten å påvirke forsøkene fra utsiden av forsøksrommet med å åpne døren underveis i forsøket. Hadde rommet vært større, ville det vært mulig å utnytte kameraet til å få en representasjonen av temperaturutviklingen til både ovner og termisk masser over tid.

5.1.2 Vurdering av fremgangsmåten for forsøkene

Fremgangsmåten for forsøkene ble utviklet spesielt for denne masteroppgaven. Det medfører at det i løpet av forsøksstiden har meldt seg flere forbedringsmuligheter for eventuelle senere forsøk.

Det forsøkene likevel viser, er at disse forsøkene har gitt et bra sammenligningsgrunnlag for de ulike ovnene som er testet. Resultatene viser at det er klare forskjeller mellom alle de ulike ovnene som er testet i forsøksrommet. Resultatene viser også at forsøkene ikke påvirkes av forhold utenfor rommet. Det kan en legge merke til fordi det er registrert tilnærmet like resultater for nedkjølingstid, uavhengig av utendørstemperatur i gjentak av to av forsøkene. Metoden har også gitt en god oversikt over ovnenes oppvarmingsforløp. Alle ovner er blitt gitt samme oppgave, å varme opp rommet til gjennomsnittstemperaturen av temperaturene midt i rommet, og langs østlig og vestlig vegg er 23 °C. Selv om ovnene har varmet opp rommet fra ulike start-temperaturer med en forskjell på 4,2 °C mellom høyeste, og laveste start-temperatur, så har de kun blitt sammenlignet innenfor samme temperatur-intervall. Ved å vente til at temperaturen har stabilisert seg i rommet, før et nytt forsøk settes i gang, er det også lettere å oppdage eventuelle påvirkninger av temperaturforholdene på utsiden av rommet. De viktigste forsøkene har også blitt testet to ganger, med unntak av Dimplex Quantum QM-100. Denne ovnen ble plassert på Hvaler torsdag 09.04.2015, for testing i en garasje med høyere U-verdier enn forsøksrommet. Dette valget gjorde at det ikke ble mulig å gjennomføre gjentakforsøk med ovnen. Gulvovnen ble ikke testet to ganger, fordi det ble tidlig klart at den ikke ville kunne bidra til peak shaving.

Gjentak av forsøkene viser blant annet hvor viktig plasseringen i rommet er. Det er stor forskjell i tidsdifferanser for oppvarming. Det skyldes trolig at ovnene har fått stå nærmere termistoren langs veggen. Det vil påvirke gjennomsnittstemperaturen og sørge for at oppvarmingen virker raskere enn den faktisk er.

Forbedringer av fremgangsmåte:

Fremgangsmåten har derfor et forbedringspotensial. Ved å benytte en fremgangsmåte der en kun ser på oppvarmingsforløpet frem til et topp-punkt, går en glipp av viktig informasjon for stabil drift av ovnen. Et alternativt forslag til metode, er derfor å la ovnen stå på over lengre tid før effekten kuttes. Da vil man fortsatt kunne få samme informasjon som dette forsøket gir i forhold til hvor hurtig ovnene er i stand til å varme opp rommet, og hvor hurtig rommet igjen vil kjøles ned. Perioden der ovnen operer på en stabil temperatur vil i tillegg kunne gi et estimat av forventet energiforbruk under stabile forhold. Videre forsøk anbefales derfor utført med å stille ovnens termostat inn på ønsket komfort-temperatur, og la ovnen få varme opp rommet over et forhåndsbestemt antall timer. Forsøket der panelovnen varmer opp olivin-elementet i fire timer er utført som et eksempel på hvordan den nye metoden kan utføres. Det ble dessverre ikke tid til å teste ut denne metoden for flere av ovnene.

Termiske masser ble også brukt i forsøket. Termiske masser varmes opp tregere enn luften rundt massen, fordi de termiske massenes varmekapasitet og vekt er forskjellig fra luftens vekt og varmekapasitet. Olivin har en varmekapasitet på mellom 2760-3050 kJ/m³K [70], betong en varmekapasitet på 0,75 kJ/kgK [61], magnetitt en varmekapasitet på 0,67 kJ/kgK [61], og luft en varmekapasitet på 1,0 kJ/kgK [66]. De vil derfor måtte varmes opp over en viss tidsperiode for å kunne oppnå termisk likevekt. Ved å teste prestasjonen til de ulike ovnene sammen med en termisk masse, kun ved å se på en kort oppvarmingsperiode, så er det sannsynlig å tenke seg at massene ikke er i likevekt før effekten tilført til ovnene kobles ut. Det anbefales derfor videre å undersøke de termiske egenskapene til eventuelle nye termiske masser brukt i forsøket, og styre oppvarmingstiden ut fra deres egenskaper. Ved å sammenligne termiske masser i likevekt vil en kunne få bedre oversikt over hvor mye hver enkelt masse kan øke tiden med komfort-temperatur i rommet. For å løse det praktisk er et forslag å støpe inn et grid av termistorer i massen. Det vil da være mulig å overvåke temperaturutviklingen som funksjon av tid og posisjon. I tillegg til at det vil være lett å observere når massen når likevekts-temperatur. Det vil være når alle termistorer holder stabil lik temperatur.

5.2 Vurdering av forsøk på Hvaler

Som et ledd i å teste ut nye fremgangsmåter, ble ovnen testet i en garasje på Hvaler med høyere U-verdier enn forsøksrommet på SKP. Dette forsøket er ikke tatt opp andre steder enn i diskusjonsdelen fordi forsøket ble påvirket i for stor grad av eier av leiligheten. Eier av leiligheten var den eneste med mulighet for å styre temperatur under forsøkene, og satte ønsket satt temperatur til mellom 7 og 11 °C. Det er gjort på tross av vedkommende fikk beskjed om å sette temperaturen til 20 °C. Ute-temperaturen var i tillegg rett rundt satt temperatur, og i noen tilfeller høyere enn satt temperatur. Det gjør at rommet ikke vil ha noe reelt varmebehov. Forsøket skulle ha blitt gjennomført med helt andre initialbetingelser for temperatur enn det som var instruksen.

Ikke alt med forsøket er negativt allikevel. Ovnen ble sammenlignet med en vanlig oljefyllt radiator under tilnærmet samme forhold. Den var plassert i samme rom, med veldig like utendørs-temperatur og veldig lik satt temperatur. Forsøkene er derfor fortsatt en komparativ test mellom denne radiatoren, og Dimplex Quantum QM-100. Det resultatene viser er at Dimplex ovn på tross av suboptimale forhold er i stand til å boble ut effekten over lengre tid enn radiatoren. Forsøkene er utført over like lang tid, og i løpet av denne tiden er Quantum QM-100 koblet ut i 43,5 timer, og radiatoren i 39 timer. På tross av manglende data er det likevel mulig å se at radiatoren er satt til å holde lik eller lavere temperatur enn utendørstemperatur i 33,5 timer av disse timene. For Dimplex Quantum QM-100 er dette tallet 34 timer. Det er interessant å legge merke til at QM-100 holder langt jevnere temperatur enn radiatoren. Der temperaturen synker raskt etter at ovnen er slått av, holder temperaturen seg lik satt temperatur for QM-100. Det vil med andre ord si at ovnen viser noen av de samme egenskapene som er observert på lab også i et mer reelt testmiljø. Den holder jevn

temperatur, og er i stand til å koble ut effekt over lengre tid, og fortsatt opprettholde varmen. Det er også med å viser hva en kan forvente av ovnen, om brukeren av ovnen ikke følger instruksene som ovnen kommer med. Ovnens vil ikke bli brukt under tilsvarende forhold som i forsøksrommet på SKP, om de installeres i norske hjem. Resultatene peker på viktigheten av å la ovnen følge sitt eget program. Skal den styres utenfra må det gjøres av en driftssentral med kunnskap om hvordan ovnen fungerer.

Det anbefales videre å teste ovnen under reelle forhold, med et reelt oppvarmingsbehov. Ovnens termostat bør da settes høyere enn det som ble gjort i dette forsøket. Det ville også vært interessant å teste ovnen med utstyr tilsvarende det på forsøksrommet, som kan gi innsikt i effektforbruk over tid, og mer høyoppløselig temperaturdata. Forsøket bør da planlegges nøye, og utføres av noen som forstår hvordan ovnen bør testes. Resultatene fra forsøket på Hvaler ligger vedlagt i vedlegg D.

5.3 Vurdering av de termiske massene brukt i forsøket

De termiske massene brukt i forsøket er valgt med tanke på at de har gode termiske egenskaper [68], [70]. Betong er et rimelig alternativ som er lett å forme slik en ønsker den. Det gjorde det mulig å lage en blokk med en stor overflate rettet mot oppvarmingskilden.

Olivin-elementet er vanskeligere å få tak i. Det krever kontakt opp mot bedrifter som utvinner olivin, eller som i dette tilfellet en produsent som produserer ferdige elementer. Disse elementene er også støpt, og kan tilpasses en oppvarmingskilde om nødvendig. Elementet som ble brukt i disse forsøkene var utformet med tanke på å være et hjørne i en peis. Det gjorde det vanskelig å få mest mulig av overflaten til elementet mot varmekilden. Skal olivin benyttes igjen bør en derfor lage et element som er best mulig tilpasset ovnen det skal være en del av. Det kan for eksempel støpes elementer til plassering opp mot varme-elementet til ovnen. Deretter kan elementene isoleres etter samme modell som Dimplex QM-100. Andre typer ovner som for eksempel den oljefylte radiatoren kan tilpasses ved å lage et element som dekker hele ovnen med hull til luftgjennomstrømning.

Begge massene viser bra potensiale for videre utforskning. Det er en tydelig påvirkning fra massene når de befinner seg i rommet. Ved flere av tilfellene bidrar de til både lavere energiforbruk under oppvarmingen, i tillegg til at de øker tiden rommet holdes innenfor komfort-temperatur. Dette er spesielt tydelig for den oljefylte radiatoren (tabell 1). Forsøket bidrar derfor til å peke på at termiske masser har et potensiale til bruk i oppvarming. Dimplex Quantum QM-100 illustrerer det poenget enda bedre enn de termiske massene benyttet som sammenligningsgrunnlag. Det gjør den ved at den er i stand til å holde komfort-temperatur inne i rommet over 19 timer, først og fremst ved bruk av magnetitt-mursteiner som et termisk lager.

Det forelå planer om å benytte seg av et faseforandrende materiale som termisk masse fra Høgskolen i Østfold [75]. Det var dessverre ikke mulig å få ferdigstilt en slik masse før forsøksperioden måtte avsluttes. Det anbefales derfor å se på muligheten for å benytte faseforandrende materialer i sammenheng med ovner. De vil kunne ta opp energi og gå over i en fase for eksempel væske, for så å stivne til fast form å gi fra seg energi. Det ville vært interessant å teste om dette ville være mulig å utnytte som termisk lager for ovner. I dag forskes det mest rundt fasematerialer i veggene til bygninger [76].

5.4 Vurdering av simuleringene og forslag til videre arbeid.

Simuleringen er blitt gjort for å kunne være et verktøy for videre testing av løsninger, som ikke er like lett å teste eksperimentelt. Formålet har vært å lage en modell, som gir så like verdier for oppvarmings- og nedkjølings-forløp for forsøksrommet som mulig. Det ville ha åpnet for muligheter innenfor design av nye løsninger, og for å kunne få et overslag for dyre løsninger uten å måtte gå til innkjøp av løsningene. Det viste seg å være en vanskelig oppgave.

5.4.1 Vurdering av det simulerte oppvarmingsforløpet

Simuleringen av oppvarmingsforløpet er den delen av simuleringen som skiller seg mest fra de eksperimentelle dataene. Oppvarmingen skjer dobbelt så raskt i simuleringen, som under forsøket. Det er trolig flere årsaker til det. Den viktigste årsaken antas å være hvordan simuleringen er satt opp. Ovnen er simulert som en stor boks i rustfritt stål, uten riller på toppen, og uten et trådelement inne i kroppen til ovnen. Varmekilden er dermed tolket som hele overflaten til ovnen, noe som gjør at mer varme vil bli avgitt fra ovnen, enn det som vil være tilfelle i virkeligheten. En kan se av figur 33, at oppvarmingen fra overflaten til ovnen ikke er jevn. Det observeres også at den ikke holder 100 °C over hele overflaten allerede fra starten av. 100 °C er valgt fordi den utgjør et snitt av målte resultater fra temperaturen på rillene til ovnen. Det vil være det samme problemet om en velger at varmekilden skal avgi en bestemt effekt, eller om den skal holde en bestemt overflate-temperatur. Hovedproblemet ligger i at overflaten av ovnen som avgir effekt må begrenses til å stemme mer med hvordan ovnen avgir effekt i virkeligheten. Det vil være fra tråd-elementet inne i ovnen. Derfor vil et av de viktigste punktene være å få med muligheten til å velge et tråd-element inne i ovnen som varmekilde.

I tillegg til at overflate-temperaturen til ovnen i simuleringen blir for høy, er visse komponenter i rommet som kan påvirke både oppvarming og nedkjøling utelatt fra simuleringen. En stor avtrekksvifte bak i rommet, vil kunne være i stand til å være et varmesluk, selv når den er slått av. Selv om en antar at en lavere U-verdi i veggene vil kunne kompensere for et eventuelt tap fra viften, er fortsatt faren til stede for at temperaturfordelingen i rommet ikke er riktig. Det gjør at det er vanskelig å si om U-verdiene en kommer frem til er helt riktige.

For at oppvarmingsforløpet skal kunne gjengi de eksperimentelle resultatene, må derfor simuleringsoppsettet endres og gjøres mer detaljert. En begynnelse vil være å dele opp rommet i vegger, gulv, og tak. I tillegg bør ovnen lages med et trådelement inne i ovnen, og med riller på toppen. Da kan en kalle tråd-elementet for varmekilden, og kunne få en bedre representasjon av ovnens virkemåte.

5.4.2 Vurdering av det simulerte nedkjølingsforløpet

Det er bedre overenstemmelse mellom det simulerte nedkjølingsforløpet og de eksperimentelle resultatene. Her stemmer den simulerte luft-temperaturen bra med luft-temperaturer observert for forsøket med gulvovn og betong. Simulert luft-temperatur er på 17,6 °C, og eksperimentelt resultat ved samme tidsrom er 17,8 °C. U-verdiene på 0,1 i alle vegger, tak og gulv er lave U-verdier, men ikke usannsynlige verdier. Skal man sammenligne verdier med kjente størrelser så kan en nevne at siste bygningsforskrifter for nye bygg TEK-10, krever U-verdier på 0,18 W/m²K i vegger, og 0,15 W/m²K i gulv, og tak 0,13 W/m²K [72]. At rommet er brukt til CA-forsøk med strenge krav til kontroll på temperaturen støtter opp om at verdiene vil være så lave i virkeligheten.

Det som er hovedproblemet med det simulerte nedkjølingsforløpet er at nedkjølingen starter med temperaturen i rommet likt fordelt (figur 39). Det vil sannsynligvis ikke være tilfelle. Ser en på det simulerte oppvarmingsforløpet (figur 38), ser en at temperaturen er fordelt i områder med ulik temperatur etter endt oppvarming. Det vil derfor vært en fordel å kunne starte simuleringen av nedkjølingen med like forhold som etter oppvarmingen. Det ville gitt et hendelsesforløp som stemmer bedre med virkeligheten.

5.4.3 Forslag til videre simuleringsarbeid

For at en simulering skal kunne gi god overenstemmelse med virkeligheten, kreves informasjon om alle komponenter som inngår i forsøkene. En må vite U-verdier i vegger, tak og gulv. En må vite hvilket materiale rommet er bygget opp av, og hvordan ovnen er bygget opp. En må også vite hvor mye effekt det er tenkt at ovnen skal trekke. En må vite hvilket temperatur-område en ønsker å se på. I tillegg til at en bør ha en ide om hvilke løsninger en ønsker å se på. Alle disse løsningene må så settes opp hver for seg, og testes over tid.

SolidWorks krever en PC med veldig god prosessorkraft. Det er et tungt program å kjøre. Utover det skal programmet i utgangspunktet være i stand til å løse alle problemstillinger knyttet til test av ovner. Det er en funksjon som tillater å skru av ovnen. Begrensningen knytter seg til hvor lang simuleringen skal være. I dette forsøket har ikke SolidWorks prestert optimalt, det anbefales derfor å undersøke hvilke andre programvareløsninger som finnes på markedet.

Et forslag til løsninger som kan simuleres, vil være å tegne en ovn inspirert av Dimplex QM-100. Ovnene bør ha en termisk masse i direkte kontakt med varme-elementet, og isolasjon rundt. Da kan en teste forskjellige termiske masser, og forskjellig type isolasjon med en og samme tegning. Det vil i de fleste programmer være mulig å definere materialegenskaper, og teste ut nye materialer i simuleringen. Det anbefales derfor å benytte simulering som et middel for å teste om faseovergangsmaterialer vil kunne ha en positiv innvirkning på designet til en ovn.

5.5 Muligheter for peak shaving

I dette delkapitlet vurderes ovnene i forhold til deres potensiale for peak shaving. Det finnes også flere ulike typer ovner som kunne vært undersøkt opp mot Dimplex Quantum QM-100. I disse forsøkene falt valget på ovner som er populære i norske hjem allerede i dag. Det er gjort for å undersøke om det vil være mulig å utvikle løsninger, som ikke krever en like stor ekstra investering for forbrukeren, som det en oppgradering av ovnene i hjemmet vil utgjøre. Om det er ønskelig å se på hvordan andre spesialovner presterer opp imot Dimplex Quantum QM-100, er anbefalingen å se mot Europa. Her har det blitt utviklet løsninger for å utnytte lavere strømpriser utenfor peak-periodene. Da gjerne i form av andre typer ovner med varmelager [77]. I denne delen vil hver av ovnene vurderes med tanke på hvor godt de kan bidra til peak shaving. Det vil også bli gitt en sammenligning av Dimplex Quantum QM-100, og alternative løsninger for peak shaving.

5.5.1 Ovnstype nr.1: Gulvovnen.

Gulvovnen er en rask ovn som en kan flytte fra rom til rom, der det er behov for oppvarming. Den er i stand til bruke lite effekt (750W), men den vil bruke høy effekt 1875 W under oppvarmingen, og liten effekt kun for å opprettholde varmen. 1875 W er et høyt effektbehov, og satt inn i et system hvor flere ovner vil stå på til samme tid på døgnet, utgjør ovnene dermed en betydelig last for strømmettet.

Ovnene er ikke i stand til å holde på varmen over tid. Gulvovnen er den ovnen som holder varmen i rommet oppe over kortest tid. På eget program holder Dimplex Quantum QM-100 temperaturen innenfor komforttemperatur 110 ganger bedre enn gulvovnen, om en ser på lengste tid begge ovnene klarer å holde komforttemperaturen oppe. Ved å sette inn begge de termiske masser i rommet hver for seg, så øker tiden romtemperaturen er innenfor komforttemperatur etter utkoblet effekt med 111 % for gulvovnen med betong fra 9 til 19 minutter. For gulvovnen og olivin øker tiden ovnen holder rommet innenfor komforttemperatur 78%, 7 minutter. Tiden rommet holder temperaturen innenfor komforttemperatur, er likevel kortere enn hva alle de andre ovnene klarer uten å tilføre en ekstra termisk masse. Ovnene øker energiforbruket når de to termiske massene er plassert i rommet. Den øker forbruket med 40 % med betong i rommet, og 30 % med olivin i rommet.

Gulvovnens karakteristikk vil derfor ikke være tilpasset et demand-response regime for peak shaving. Den er ikke i stand til å lagre varme over en tilstrekkelig tidsperiode. I tillegg trekker den mye effekt. Den vil derfor ikke anbefales til videre testing, og er heller ikke testet med gjentak av samme grunn.

5.5.2 Ovnstype nr. 2: Oljefylt radiator.

Den oljefylte radiatoren er både rask, og i stand til å holde på varmen over tid. Den klarer å holde varmen oppe i 67 min, etter å ha varmet opp rommet i kun 68 min, fra 15-23 °C. Om ovnen testes uten betong eller olivin i rommet, holder rommet fortsatt komfort-temperatur i 50 min.

Ovnen bruker lite energi sammenlignet med de andre ovnene i oppvarmingsfasen mellom 17-23 °C, 1,41 kWh når den settes sammen med betong og olivin. Gulvovnen bruker 1,8 kWh uten termisk masse i samme temperaturintervall.

Plassering i rommet er viktig både i forhold til energiforbruk og evnen til å holde temperaturen oppe i rommet. Plasseres den oljefylte radiatoren så nærme veggen at hjulene står inn til veggen, holder den temperaturen oppe i 50 minutter mot gulvovnens 9 minutter, og panelovnens 34 minutter. Plasseres den lenger ut som i forsøk 2, er den kun i stand til å holde rommet varmt i 34 minutter. Den vil derfor kun være marginalt bedre enn panelovnen, fordi den bruker 1,19 kWh, for å holde varmen oppe i rommet i 34 minutter der panelovnen bruker 2,83 kWh. Det er 138 % mindre energi for å utføre samme oppgave.

Ovnens termostat kobler ut effekten under oppvarmingsforløpet. Det er viktig å tenke at disse ovnene vil kjøres sammen i et demand-response regime. Det gjør at de ikke kan slås på samtidig, med mindre termostaten byttes ut med en elektronisk PID-regulator. Om 1000 ovner slår ut samtidig i fem minutter, vil det tilsvare to MW. Det er en stor reduksjon i effektbehov over kort tid. Selv om en slik reduksjon kommer til faste tider, vil det by på problemer for sikker nettdrift.

Den oljefylte radiatoren har i sum spennende egenskaper som bør utforskes videre. Til videre arbeid bør det derfor testes ut hvor bra ovnen presterer i forhold til effektforbruk, og evne til å holde opp temperaturen i en bolig med standard isolasjon. Det anbefales å se videre på en løsning som omfatter en stor termisk masse, gjerne olivin sammen den oljefylte radiatoren. Et eksempel på en ovnløsning kan være en "hette" av olivin med hull hvor luft kan komme ut på toppen. Det finnes også materialer som har faseforandrings-egenskaper såkalte Phase Changing Materials (PCM) [76], som kan brukes som termisk masse. En ny type termostat som er mer lik en PID-regulator bør også benyttes, og ikke samme type termostat som sitter i ovnen i dag.

5.5.3 Ovnstype nr. 3 Panelovn med glassoverflate

Panelovnen med glassoverflate trekker høyere gjennomsnittlig effekt enn de andre ovnene. Den trekker 0,59 kWh/h der Dimplex Quantum QM-100 trekker 0,26 kWh/h. Ser en i tabell 1, så ser en at den også bruker mest strøm på å gå fra 17 -23 °C. Målinger under lab-forsøkene viser at ovnen kun trekker 975 W. Det vil si at selv om den bruker mye strøm, så vil den potensielt være i stand til å benytte lavere effekt til oppvarming enn de andre ovnene. Alle ovner bør testes over lengre tid før det er mulig å fullt ut si noe om hvor mye mindre effekt ovnen vil trekke, da de andre ovnene også har mulighet til å trekke lite effekt. 750 W for gulvovnen, og 900 W for den oljefylte radiatoren. Ovnens termostat slår ikke ut over like lang tid som den oljefylte radiatoren, den vil derfor trekke effekt mer stabilt og forutsigbart, enn den oljefylte radiatoren.

Ovnen viser potensiale til å flytte laster dersom den brukes sammen med en termisk masse. Det er derfor interessant å se på muligheten for å utvikle nye ovner med utgangspunkt i panelovnen. Da er betingelsen den at ovnen vil være billigere å produsere enn konkurrenten Dimplex Quantum QM-100. Per i dag koster Dimplex ovn ca. 10700 NOK om en kun ønsker å kjøpe en ovn. Panelovnen koster ca. 1400 NOK, uten modifikasjoner. En løsning tett opp mot løsningen til Quantum QM-100, men med bedre termisk masse vil være et godt utgangspunkt. Da vil ovnen kunne lagre varme over tid, og brukes som lager i et demand-response regime.

Per i dag, viser ovnen et visst potensiale for utnyttelse i et demand-response regime. Den er i stand til å holde på varmen omtrent like bra som radiatoren. Det vil allikevel kreve videre forskning for å finne ut hvordan den bør utnyttes i et smart styringssystem.

5.5.4 Ovnstype nr.4 Ovn med varmelager Dimplex Quantum QM-100.

Denne ovnen er spesialutviklet i England [9], den er utviklet for å kunne utnytte lavere strømpriser, utenfor periodene med topplast på det engelske strømmettet. Det gjør at ovnen er i stand til å koble ut effekt på den tiden effekt-toppene inntreffer. Ovnen bruker minst strøm av de ovnene som er testet over tid med 0,26 kWh/h innenfor komfort-temperatur, mot 0,59 kWh/h for samme forhold for panelovnen. Ovnen krever en innkjøringsfase på et døgn. Deretter er den i stand til å styre når den skal trekke effekt, og når den skal koble ut effekten for å holde ønsket temperatur. I forsøksrommet på SKP var den i stand til å koble ut effekt over 19 timer ved å følge Home All Day programmet. Det tyder på at den vil være i stand til å koble ut effekt over lang tid også ved høyere U-verdier. Videre testing bør derfor basere seg på å teste ut ovnen i et større rom med høyere U-verdier.

Ovnen er i stand til å flytte 2 kW per ovn bort fra periodene med topplast. Det gjør løsningen meget skalerbar.

Forsøkene med termiske viser at det vil øke tiden ovnen kan være koblet ut. Det er derfor potensiale for å videreutvikle løsningen. Grunnet de allerede gode eksperimentelle dataene, som viser at det er mulig å koble ut effekten i 19 timer under drift uten ekstra termisk masse, er konklusjonen at ovnen allerede har potensiale for å benyttes til peak shaving. Det er med andre ord den beste løsningen for peak shaving av de ovnene som ble testet.

5.5.5 Sammenligning med andre løsninger for peak shaving.

Dimplex Quantum QM-100 er en løsning som gjør det mulig å flytte last-topper allerede i dag. Det gjør det naturlig å sammenligne denne ovnen med andre mulige løsninger for peak shaving. To løsninger som også er skalerbare og tilpasset enkelthusstander er valgt ut. Disse er en batteriløsning fra Tesla Motors [6], og en svinghjul-løsning fra Velkess [78].

Batteriløsningen til Tesla Motors:

Batteriløsningen til Tesla er en batteripakke tilpasset hjemmet. Den vil kunne levere en effekt på 3,3 kW på det meste, og 2 kW nominell, energilageret er på 7 kWh. Det vil koste \$3000 eller 22400 NOK (med kursen 10.05.15). Batteripakken veier 100 kg og dimensjonene er 1,3x0,86x0,18 meter.

Batteriløsningen til Tesla Motors har mange fordeler. Den tar liten plass, det er mulig å kjøpe inn en pakke for et hus. Den har nok lagringskapasitet til å dekke en stor andel av peak-perioden. Den er i stand til å dekke opp til 3,3 kW effektbehov i ca. to timer, og 2 kW i ca. 3,5 timer. Den største fordelen er at de kan brukes til å integrere solceller i distribusjonsnett. På dagtid utenfor peak-perioden kan et solcelle-anlegg på taket lade opp batteribanken, og på ettermiddagen/kvelden kan en bruke batteribanken som strømkilde. Har en ikke solceller kan en benytte seg av lavere priser utenfor peak-periodene, og lade opp batteriet med billig strøm, for så å bruke strømmen fra batteriet når strømmen blir dyrere. Løsningen kan også fungere som back-up, om strømmen skulle falle ut. Det er mulig å koble sammen flere batteripakker om det er ønskelig.

Batteripakken kommer med 10 års garanti fra Tesla Motors [6]. Batteriløsninger krever gode omformere. Er disse tilstede vil de kunne stabilisere nettet ved å kontrollere både spennings- og frekvens-kvalitet [20].

Løsningens ulemper er blant annet pris. Den billigste versjonen koster \$3000 (22800 NOK). Prisen inkluderer ikke omformer. Derfor er det gjerne først og fremst interessant som en løsning sammen med solceller. Da er en omformer uansett nødvendig. Levering av løsningen vil starte sommeren 2015 [6]. Batteriløsninger er i tillegg laget av miljøskadelige materialer. Det gjør at både produksjon av batteriene, og avfallshåndtering vil være en utfordring [21].

Svinghjul-løsningen til Velkess:

Svinghjul-løsningen til Velkess [78], er ikke så ulik batteriløsningen til Tesla Motors når det gjelder bruksområde. Den muliggjør lagring av elektrisk energi, som er nok til å dekke store deler av behovet under peak-perioder. Dette vil alltid avhenge av den spesifikke boligens energibehov. Velkess tilbyr en løsning med 3 kW effekt, og 15 kWh energilager, kalt Velkess Model L [78]. Løsningen kan dekke 5 timers behov på full effekt. Det er også mulig å koble sammen flere svinghjul om det skulle være nødvendig. Svinghjulene er miljøvennlige. Det er ikke fare for skadelige utslipp under produksjonen, og/eller i bruk [26]. De kan erstatte en eksisterende 48 VDC batteriløsning, men vil kunne levere høyere effekt, og øke levetiden til systemet med 3-5 ganger [78]. Velkess lover likevel ikke lenger garanti enn Tesla Motors, begge lover 10 års garanti på sine produkter [6], [26]. Løsningen kan også fungere som back-up om strømmen skulle falle ut. Den trenger heller ikke mye vedlikehold [78].

Ulemper med løsningen er at den er dyr. Den koster dobbelt så mye som batteriløsningen til Tesla med en pris på \$6000 (44900 NOK ved gjeldende kurs 10.05.15). Løsningen kommer ikke med omformer, og det vil derfor være nødvendig å skaffe utenom. Løsningen veier også mye, 340 kg, men tar ikke veldig stor plass med dimensjonene 1x1x1m. Løsningen leveres ikke før i 2016 [78].

Dimplex Quantum QM-100:

Fordeler med ovnen er at det er en mye billigere løsning for peak shaving. Den er mer enn dobbelt så billig som løsningen til Tesla, og fire ganger billigere enn løsningen til Velkess, selv uten rabatter og billigere frakt. Løsningen bidrar også direkte til sparte strømutgifter, fordi strømforbruket til oppvarming går ned. I tabell 4 vises et overslag på hvor mye det er mulig å spare i løpet av 10 år om prisene holder seg slik de gjør i dag. Da er det antatt at en kan spare 11400 NOK i løpet av 10 år, om en antar at den norske kronen taper seg 5 % årlig. Ser en til Dimplex egne beregninger der det er innført tariffen som støtter opp om forbruk utenfor topplast-periodene, er det mulig å spare 44-47 % på strømregningen mot en tradisjonell panelovn [79]. Det er planer om å innføre effektbaserte tariffen også i Norge [80], disse verdiene fra England gir derfor et estimat på hvor mye en kan forvente å spare i Norge også. Ovnen bidrar til peak shaving på vinteren, når behovet for peak shaving er størst. Den kan bestilles, og installeres innen kort tid, slik at løsningen kan være klar før neste vinter om ønskelig. Forbrukeren vil spare penger på løsningen fra første dag i bruk, selv uten døgn-differensierte priser. Installasjon og bruk av løsningen er meget intuitiv. Ovnen har lang levetid, lite vedlikehold er nødvendig, og den har en garanti på 10 år fra produsent [64].

Ulemper med løsningen er at den ikke er like fleksibel som en løsning som kan lagre elektrisk energi, og konvertere energien tilbake til elektrisk energi. Velkess og Tesla Motors løsning muliggjør at hvilke som helst av husholdningsapparatene kan bruke den oppsparte energien. Den må ikke nødvendigvis brukes til

oppvarming. Ovnene vil ikke kunne fungere for peak shaving om sommeren, fordi det ikke lenger er noe behov for oppvarming. Magnetitt den termiske massen til ovnen, utvinnes også ved gruvedrift, gruvedrift vil generelt være miljøskadelig [81].

6 Konklusjon og videre anbefalinger

Det er ingen ferdige løsninger som umiddelbart kan installeres i norske hjem. Alle løsningene må være ønsket av forbrukeren. Derfor bør det gjennomføres markedsundersøkelser for å finne ut hvor mange som kunne tenke seg en av løsningene. Det anbefales å fokusere først og fremst på de to rimeligste alternativene. Dimplex Quantum QM-100 ovnen tilbyr en vinn-vinn løsning for både forbruker og nettselskap, ved at ovnen sparer inn strømutfgifter, og tilbyr jevn varme når det er behov for varme. I tillegg er den en god løsning for peak shaving som vil bidra med 2 kW per ovn. Fokus inn mot forbruker bør være på hvor mye penger en sparer ved å kjøpe en slik ovn. Da vil nettselskaper i områder med hardt pressede strømmnett i beste fall ha en løsning klar allerede før neste vinter.

Løsningen fra Tesla Motors, vil kunne støtte opp om økt fornybar energi fra solceller. Det er en enda mer fremtidsrettet løsning enn ovnen. En pakkelsning med solceller, omformere, og batteripakke fra Tesla Motors bør derfor også presenteres som et alternativ i en markedsundersøkelse.

Det finnes med andre ord allerede i dag løsninger for peak shaving som raskt kan tas i bruk. Det eneste som gjenstår er å skaffe bevissthet rundt løsningene som finnes, og å få løsningene inn i norske hjem.

Til videre arbeid anbefales det også å jobbe med løsninger som forbedrer eksisterende løsninger. Spesielt bør det sees på muligheten for å utvikle ovner som utnytter faseforandrende materialer som energilager. Ovnene Dimplex Quantum QM-100 bør også testes ut i et reelt miljø, ved et reelt varmebehov. Dette kan være en ferdig løsning for peak shaving i Norge. Derfor bør det være fokus på å bekrefte det ved nye forsøk.

Referanser:

Det er ikke brukt EndNote i denne oppgaven. Referanselisten følger følgende oppsett: Forfatters etternavn, Fornavn. "Tittel på dokument". Navn på nettside. Sponsor-organisasjoner, Publisert/oppdatert dato. Type publikasjon for eksempel internett. Siste gang siden ble besøkt. <URL>.

Der informasjon mangler er dette feltet utelatt. Alle referanser vil følge samme rekkefølge, slik at der informasjonen mangler vil neste felt med informasjon dukke opp.

Forskrifter er gjengitt med kort navn på forskrift, og år den ble gjeldene, etterfulgt av fullt navn, og hvor den er tilgjengelig.

[1] The Norwegian Smartgrid Center, "Innspill til Stortingsmeldingen om en helhetlig energipolitikk -- hvor energiforsyning, klimautfordringen og næringsutvikling sees i sammenheng" smartgrids.no. 26.11.2014.Internett. 12.05.15. Kan hentes fra

< <http://smartgrids.no/innspill-til-stortingsmeldingen-om-en-helhetlig-energi-politikk/> >

[2] Statnett. "Nettutviklingsplan 2013". *Statnett* 29.10.2014. Internett. 12.05.15 Kan hentes fra, og gjelder s.8-9. < <http://www.statnett.no/Nettutvikling/Nettutviklingsplan-2013/> >

[3] Nilsen, Jannicke. " KORTSLUTNINGSYTELSE I STRØMNETTET Derfor blinker lyset når naboen dusjer". *Artikkel i Teknisk Ukeblad*. 2. November 2013. Internett. 12.05.2015.

<<http://www.tu.no/kraft/2013/06/12/derfor-blinker-lyset-nar-naboen-dusjer> >

[4] ABB "Peak Shaving". *ABB*. Internett. 13.05.2015. <<http://new.abb.com/substations/energy-storage-applications/peak-shaving>>

[5] Energikilder, Vindkraft, Teknologi. *Fornybar.no*. Multiconsult, NVE, Enova, Norges Forskningsråd, Innovasjon Norge. Internett. 12.05.2015.

<<http://www.fornybar.no/vindkraft/teknologi>>

[6] Produktinformasjon fra Tesla Motors hjemmeside. <<http://www.teslamotors.com/powerwall>>

[7] Feilber Nicolai, Grinden Bjørn. "Ny kunnskap om fordeling av strømforbruket". *Sintef*. Internett.

12.05.2015 tilgjengelig ved å kopiere url inn i nettleser

<<https://www.sintef.no/globalassets/upload/energi/nyhetsbrev/ny-kunnskap-om-fordeling-av-stromforbruket.pdf>>

[8] Bøeng, Ann Christin. "Energibruk i husholdningene, 2012". *Statistisk sentralbyrå*. 14.07.2014.

Internett. 12.05.2015 < <http://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi> >

[9] Produktbeskrivelse av Dimplex Quantum QM-100:

<http://www.dimplex.co.uk/products/domestic_heating/installed_heating/quantum/quantum/index.htm>

[10] Produktbeskrivelse SolidWorks Flow Simulation. *Dassault Systems*. Internett. 13.05.2015.

<<http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/flow-simulation.htm>>

[11] " Statistikk Ladbare biler i Norge, apr. 2015". *gronnbil.no*. KS, ZERO, Transnova, EnergiNorge.

Internett. 12.05.15. < <http://www.gronnbil.no/statistikk/> >

[12] Kvisle, Hans Håvard. " Hva er hurtiglading?". *Ladestasjoner.no*. Internett. 12.05.15

<<http://www.ladestasjoner.no/hurtiglading/om-hurtiglading/24-hva-er-hurtiglading> >

[13] Eksempel på induksjonstopp med oppgitt effektbehov på 7,2 kW. *Elkjøp* 12.05.2015.

<<http://www.elkjop.no/product/hvitevarer/platetopp/NZ64H57477K/samsung-induksjonstopp-nz64h57477k#tab-specs>>

[14] Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet (2004). *Forskrift om leveringskvalitet i*

kraftsystemet. Hentet fra < <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557> >

[15] Aabakken Camilla, Gillund Astri, Gleditsch Morten, Paulen Synnøve Lill. " Rapport nr 2-2014

Det høyspente distribusjonsnettet". *NVE*. Februar 2014. Internett. 12.05.2015 Gjelder

sammendraget, og kan hentes fra <

webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2014/rapport2014_02.pdf>

[16] "Komponenter i nettleien". *NVE*. 02.02.2015. Internett. 12.05.2015.

<<http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Nettleie1/Om-nettleie/>>

[17] "Konsesjonsprosessen". *Lysekonsern*. Internett. 12.05.2015.

<<http://www.lysekonsern.no/grunneier/konsesjonsprosess-article1782-868.html>>

[18] "Demand Response". *Energy.gov Office of Electricity Delivery and Energy Reliability*.

Internett. 12.05.2015. <<http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid/demand-response>

>

[19] Beguin Antoine, Cherkaoui Rachid, Oudalov Alexandre. "Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application". *Researchgate.net*.

Internett.12.05.2015 Tilgjengelig fra

<http://www.researchgate.net/publication/4341620_Sizing_and_Optimal_Operation_of_Battery_Energy_Storage_System_for_Peak_Shaving_Application>

[20] LaMonica, Martin. "Power electronics smooth solar transition, New devices address instability caused by high penetration of distributed solar". *MIT Technology Review*. 21.01.2014. Internett.

12.05.15 tilgjengelig fra <<http://www.technologyreview.com/news/523386/power-electronics-smooth-solar-transition/>>

[21] Miljødirektoratet. "Batterier". *Miljøstatus.no*. 27.11.2014. Internett. 12.05.2015

<<http://www.miljostatus.no/batterier>>

[22] Erlie Dalløkken, Per. "GJENBRUK AV ELBILBATTERIER Nissan Leaf lever videre som energilager på solpark. Brukte Nissan Leaf-batterier balanserer solkraft". *Artikkel Teknisk Ukeblad*.

21.02.2014. Internett. 12.05.15. Tilgjengelig fra

<<http://www.tu.no/industri/2014/02/21/her-far-gamle-nissan-leaf-batterier-nytt-liv>>

- [23] Rapport ABB. "Battery Energy Storage for Congestion Relief Relieving stress on transmission bottlenecks". *ABB*. Internett. 12.05.2015 tilgjengelig ved å kopiere dette feltet inn i nettleseren. <<http://www.abb-energystoragesolutions.com/pdf/Congestion%20Relief%20brochure.pdf> >
- [24] Blixhavn Øystein, Brunsgård Ek Emilie, Bjertnes Jacobsen Jonas, Lund Berit, Tollefsen Håkon, Eide Wiik Helene. "Nabolag på lag Eksperter i team TET4850 - Smart Grid". 02.05.2013. Internett. 12.05.2015 tilgjengelig ved å kopiere url inn i nettleseren. <<http://smartgrids.no/wp-content/uploads/sites/4/2013/06/Nabolag-paa-lag.pdf>>
- [25] "Flywheels". *Energy Storage Association*. Internett. 12.05.2015. <<http://energystorage.org/energy-storage/technologies/flywheels>>
- [26] Nelder, Chris. "Turn Up the Juice: New Flywheel Raises Hopes for Energy Storage Breakthrough". *Scientific American*. 10.04.2013. Internett. 12.05.2015. <<http://www.scientificamerican.com/article/new-flywheel-design/> >
- [27] Gray, Bill. Velkess Energy Storage Kickstarter kampanje. 15.04.2015. Internett. 12.05.2015. <<https://www.kickstarter.com/projects/1340066560/velkess-energy-storage/posts/1199549>>
- [28] "Compressed Air Energy Storage (CAES)". *Energy Storage Association*. Internett. 12.05.2015. <<http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes>>
- [29] LaMonica, Martin. "Compressed Air Energy Storage Makes a Comeback". *IEEE Spectrum*. 12.09.2013. Internett. 12.05.2015 <<http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/compressed-air-energy-storage-makes-a-comeback>>
- [30] Konseptbeskrivelse på hjemmesiden. *LightSailEnergy*. Internett. 12.05.2015. <<http://lightsailenergy.com>>

- [31] "Hydrogen Energy Storage". *Energy Storage Association*. Internett. 12.05.2015.
<<http://energystorage.org/energy-storage/technologies/hydrogen-energy-storage>>
- [32] "Pumped Heat Electrical Storage (PHES)". *Energy Storage Association*. Internett. 12.05.2015.
<<http://energystorage.org/energy-storage/technologies/pumped-heat-electrical-storage-phes>>
- [33] "Lagring av energi". *Fornybar.no*. Multiconsult, NVE, Enova, Norges Forskningsråd, Innovasjon Norge. Internett. 12.05.2015. <<http://www.fornybar.no/overforing-og-lagring-av-energi/lagring-av-energi/lagring-av-energi>>
- [34] Konseptbeskrivelse fra Isentropics hjemmeside. *Isentropic* Internett. 12.05.2015
<http://www.isentropic.co.uk/Energy-Storage-Systems>
- [35] Teknologi, Solceller, Passive solvarmesystemer 2.2.3. *Fornybar.no*. Multiconsult, NVE, Enova, Norges Forskningsråd, Innovasjon Norge. Internett. 12.05.2015.
<<http://www.fornybar.no/solenergi/teknologi#sol2.2>>
- [36] Oversikt over forskningstema ved Center for the built environment, ved University of California, Berkley. Internett. 12.05.15.
<http://www.cbe.berkeley.edu/research/research_hvac.htm>
- [37] S Grande Ove, Sæle Hanne. "Testprosjektet som er gjennomført hos Malvik Everk inngår som en del av Forskningsrådsprosjektet "Markedsbasert Forbrukstilpasning" (2005-2008) hvor Statnett er oppdragsgiver på vegne av bransjen. ". *Sintef* 07.07.2008. Internett.12.05.2015
<<http://www.sintef.no/sintef-energi/om-sintef-energi-as/xergi/xergi-2008/nr-1---mai/bakgrunn-og-resultater/>>
- [38] Bremdal Bernt Arild, Andor Foosnæs Jan, Kristoffersen Vidar, Sletner Jo Morten, Sæle Hanne. 2015. "USING COMMUNITIES OF SUMMER HOUSES AS A WINTER TIME DEMAND-RESPONSE RESOURCE". CIRED Paper 0505. (Blir tilgjengelig etter 18. Juni 2015, rapporten er blitt delt av Bernt Arild Bremdal).

[39] Valmot, Odd Richard. "VARMEPUMPER OG SMARTE NETT

Smartere varmepumper skal få ned strømregningen". *Artikkel fra Teknisk Ukeblad*. 04.03.2015.

Internett. 12.05.2015 <<http://www.tu.no/kraft/2013/11/10/smartere-varmepumper-skal-fa-ned-stromregningen>>

[40] "TEORI TERMISK ISOLERING". *Glava Isolasjon*. Internett. 12.05.2015.

<<http://www.glava.no/bygg/teori/termisk-isolering/>>

[41] "Concrete for energy efficient buildings: the benefits of thermal mass". Brosjyre fra EUROPEAN CONCRETE. Internett. 12.05.2015.

<<http://www.europeanconcrete.eu/publications/energy-efficiency/121-concrete-for-energy-efficient-buildings-the-benefits-of-thermal-mass>>

[42] "Faktorer som påvirker inneklime ". *Folkehelseinstituttet*. 03.03.2015. Internett. 12.05.2015.

<http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=239&trg=List_6212&Main_6157=6263:0:25,6146&MainContent_6263=6464:0:25,6166&List_6212=6218:0:25,8687:1:0:0:::0:0>

[43] Gundersen, Per. "Energifleksible lavtemperatur varmeanlegg". *Sintef*. Januar 2002. Internett, 12.05.2012. Hele rapporten er nyttig for å sette seg inn i vannbåren varme. Tilgjengelig ved å kopiere url inn i nettleser.

<<https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/prosjektrapport317.pdf>>

[44] Priseksempel på vannbåren gulvvarme fra Nor House AS. Internett. 12.05.15.

<<http://www.norhouse.no/index.php/75-uncategorised/275-pris-til-gulvvarme>>

[45] "Ulike typer varmepumper". *Varmepumpeinfo.no*. Internett. 13.05.2015.

<http://www.varmepumpeinfo.no/ulike_varmepumper>

[46] Oversikt over løsninger for varmepumper som Enova støtter. Internett. 12.05.15.

<<http://www.enova.no/finansiering/privat/slik-stotter-vi-deg/vare-tilbud/vare-tilbud/904/1940/>>

[47] Tips til anskaffelse av luft-luft varmepumpe fra Enova. Internett. 12.05.15.

<<http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/luftluft-varmepumpe-/luftluft-varmepumpe/112/275/>>

[48] "Hva koster pumpe og montering? Ikke velg modell kun ut i fra pris. Sammenlign i stedet priser fra flere leverandører når du har bestemt deg for hvilken pumpe du skal kjøpe". *Forbrukerrådet*. 07.10.2013. Internett. 12.05.2015.

< <http://www.forbrukerradet.no/annet/tester-og-kj%C3%B8petips/produkter/6.hva-koster-pumpe-og-montering> >

[49] "Vedovn". *Energiråd Innlandet*. Internett. 12.05.15. <<http://www.energirad-innlandet.no/husholdninger/oppvarming-av-boliger/vedovner>>

[50] Firmaside til Norsk Kleber. Internett. 12.05.15.

<<http://norskkleber.no/no/?gclid=Cly678DOvsQCFe7MtAodkmYAHw>>

[51] Firmaside til Varmepipa AS. Internett. 12.05.15. <<http://www.varmepipa.no>>

[52] Sprenger, Mona. "VEDOVNER I PASSIVHUS Moderne hus tar livet av vedovnene Det kan raskt bli slutt på peiskosen". *Artikkel fra Teknisk Ukeblad*. 14.09.2012. Internett. 12.05.15.

<<http://www.tu.no/bygg/2012/09/14/moderne-hus-tar-livet-av-vedovnene>>

[53] *Akershus Enøk og Inneklima as*. Internett. 12.05.15.

<http://www.enok.no/enokguiden/06_1.html>

[54] "Oppvarmingskilder". *Norges Astma og Allergiforbund*. Internett. 12.05.2105.

<<http://www.naaf.no/ru/subsites/drift-og-helse/tekniskelosninger/oppvarming/oppvarmingskilder/>>

[55] Bruksanvisning Mill Steel Gulvovn. Internett. 12.05.15.

<<http://static1.squarespace.com/static/54e19d4de4b08bab4fbe5975/t/54e5f899e4b0614713bebaa4/1424357542178/Mill+Steel+Gulv+-+norsk>>

[56] Produktomtale for gulvovnen fra Mills hjemmeside. Internett. 12.05.15. <

<http://www.millheat.com/mill-steel-floor/sg2000led> >

[57] Produktinformasjon for gulvovnen fra Elkjøps nettbutikk. *Elkjop.no*. Internett. 12.05.15.

<<http://www.elkjop.no/product/hjem-og-husholdning/oppvarming/SG2000LED/mill-gulvovn-sg2000led#tab-specs>>

[58] Produktinformasjon om den oljefylte radiatoren fra Elkjøps nettbutikk. *Elkjop.no*. Internett.

12.05.15. <<http://www.elkjop.no/product/hjem-og-husholdning/oppvarming/KH770920CB/delonghi-oljefylt-radiator-kh770920cb#tab-specs>>

[59] Produktinformasjon om den oljefylte radiatoren fra hjemmesiden til DeLonghi. *DeLonghi*.

Internett. 12.05.2015. <<http://www.delonghi.com/nb-no/produkter/komfort/flyttbare-varmekilder/oljefylte-radiatorer/hor-kh770920b1>>

[60] Produktinformasjon om panelovnen med glassoverflate fra Mill, fra Elkjøps nettside. *Elkjop.no*.

Internett. 12.05.15. <<http://www.elkjop.no/product/hjem-og-husholdning/oppvarming/PH1000DNS/mill-glasspanelovn-ph1000dn-s#tab-more-info>>

[61] "Solids- Specific Heat". *The Engineering Toolbox*. Internett. 12.05.15.

<http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d_154.html>

[62] Produktinformasjon om Mills panelovn med glassoverflate fra Mills hjemmeside. *Mill*. Internett.

12.05.15. <<http://www.millheat.com/mill-glass/ph1000dn-s>>

- [63] Prouktinformasjon om Mills panelovn med glassoverflate fra Elkjøps nettbutikk. *Elkjop.no*. Internett. 12.05.15. <<http://www.elkjop.no/product/hjem-og-husholdning/oppvarming/PH1000DNS/mill-glasspanelovn-ph1000dn-s>>
- [64] Oversikt over fordelene ved Quantum-produktklassen til Dimplex. *Dimplex*. Internett. 12.05.2015. <http://www.dimplex.co.uk/products/domestic_heating/installed_heating/quantum/homeowner/index.htm>
- [65] Oversikt over egenskapene til Dimplex Quantum QM-100 fra nettbutikken TLC. Internett. 12.05.15. <<https://www.tlc-direct.co.uk/Products/DXQM100.html>>
- [66] "Specific Heat of Dry Air". *The Engineering Toolbox*. Internett. 12.05.15. <http://www.engineeringtoolbox.com/air-specific-heat-capacity-d_705.html>
- [67] "Air- Density and Specific Weight". *The Engineering Toolbox*. Internett. 12.05.15. <http://www.engineeringtoolbox.com/air-density-specific-weight-d_600.html>
- [68] "Concrete Properties". *The Engineering Toolbox*. Internett. 12.05.15. <http://www.engineeringtoolbox.com/concrete-properties-d_1223.html>
- [69] "Olivine". *Geology.com*. Internett. 12.05.15. <<http://geology.com/minerals/olivine.shtml>>
- [70] "The Olivine stone". *Suomen Kiuaskivi*. Internett. 12.05.15. <<http://www.suomenkiuaskivi.fi/tests.php>>
- [71] "Varmestyringsanlegg". *Enova*. Internett. 12.05.15 <<http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/styring-og-effektivisering/varmestyringsanlegg/varmestyringsanlegg/110/133/>>
- [72] Forskrift om tekniske krav til byggverk (2010, endret 01.01.2015). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Hentet fra <<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489>>

[73] "Kvalitetsinsentiver ". *NVE*. 14.11.2013. Internett. 12.05.15.

<<http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Regulering-av-nettselskapene/Om-beregning-av-inntektsrammer/Kvalitetsincentiver/>>

[74] Hjemmeside til loggesystemet Raspberry Pi. *Raspberry Pi*. Internett. 12.05.15.

<<https://www.raspberrypi.org/>>

[75] Kontaktinformasjon for Anna Lena Kjørnisen ved Høgskolen i Østfold. Internett. 12.05.15.

<<http://www.hiof.no/om-hogskolen/sok-pa-sidene/profil?displayitem=29480&module=admin&PHPSESSID=72f1mevqq96l6skdibuh6rc714>>

[76] F. Cabeza Luisa, M. Marín José, Mehling Harald, Zalba Belén. "Review on thermal energy storage with phase

change: materials, heat transfer analysis and applications ". 11.10.2002. *Applied Thermal Engineering* s. 251-283. Internett. 12.05.2015 tilgjengelig på

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431102001928>>

[77] "What are Electric Storage Heaters?". *StorageHeaters.com*. Internett. 12.05.15.

<<http://www.storageheaters.com/>>

[78] Produktinformasjon om Velkess L og Velkess A, fra Velkess Inc. hjemmeside. *Velkess*.

Internett. 12.05.15. <<http://www.velkess.com/products/>>

[79] Dimplex egne kostnadsanalyse av ulike oppvarmingsløsninger opp mot Dimplex Quantum-serien. *Dimplex*. Internett. 12.05.15.

<http://www.dimplex.co.uk/products/domestic_heating/installed_heating/quantum/homeowner/running_cost_comparisons.htm>

[80] Svartsund, Trond. "Nye tariffer i distribusjonsnettet". *EnergiNorge*. 09.03.2015. Internett.

12.05.15. <<http://www.energinorge.no/nyheter-om-nett-og-system/nye-tariffer-i-distribusjonsnettet-article10706-239.html>>

[81] Artikkel fra NIVA gjengitt av forskning.no. "Gruvedriftens dilemma". 11.11.2011. Internett.

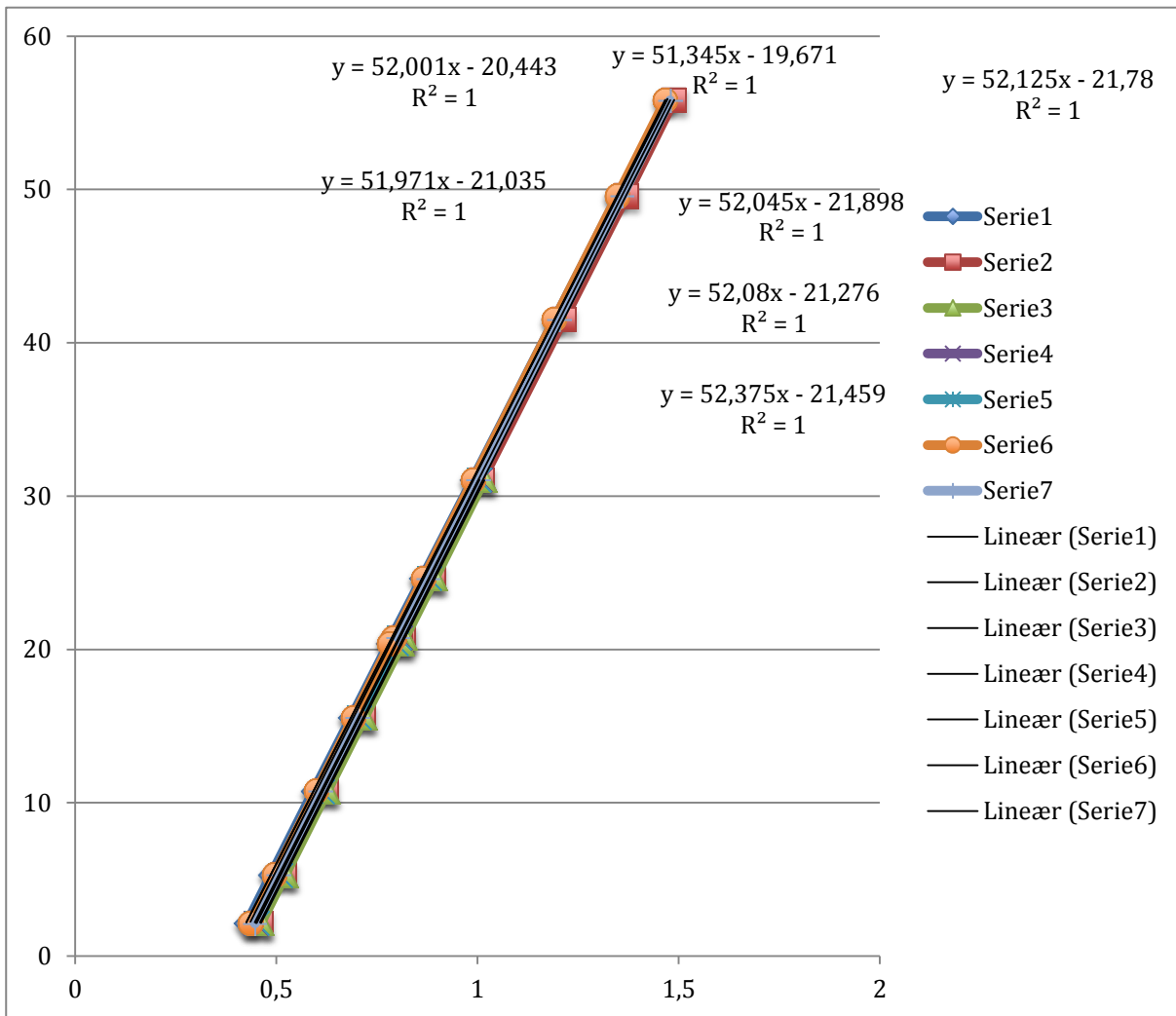
12.05.2105. <<http://forskning.no/forurensning-miljovern-geofag/2011/11/gruvedriftens-dilemma>>

Vedlegg:

Vedlegg A

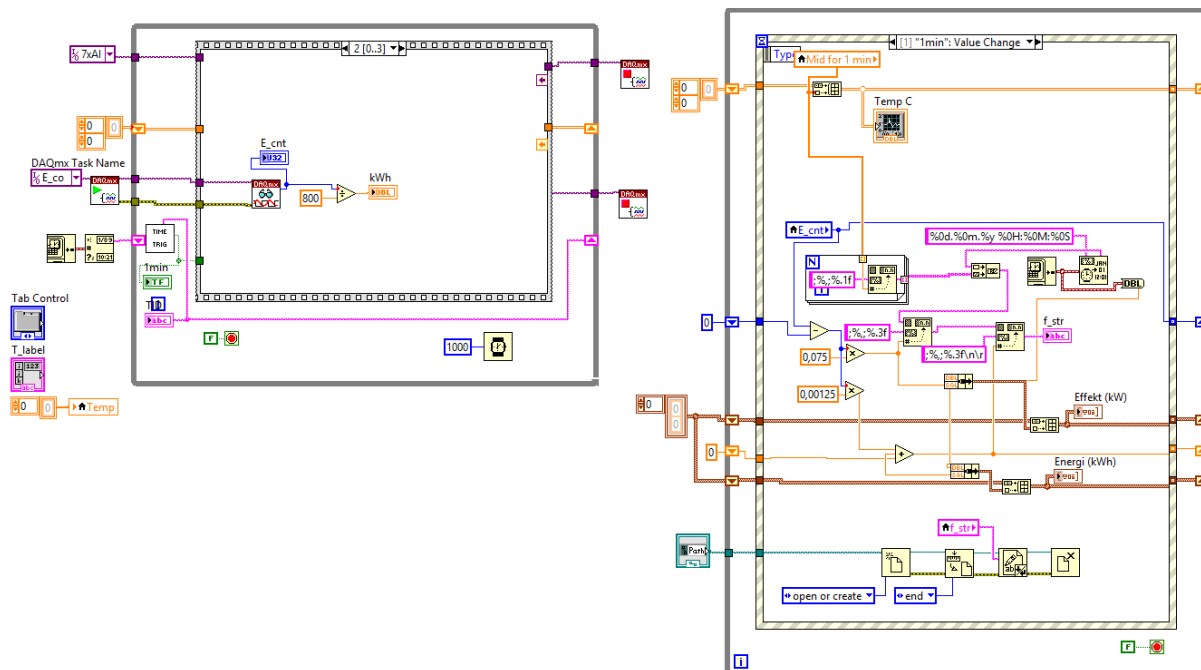
Nr. termistor	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	55,82	49,55	41,5	31,04	24,62	20,75	20,37	15,55	10,74	5,28	2,13
1	1,472	1,348	1,191	0,987	0,862	0,786	0,779	0,686	0,592	0,487	0,426
2	1,489	1,37	1,214	1,012	0,889	0,815	0,808	0,716	0,624	0,52	0,46
3				1,017	0,894	0,82	0,812	0,719	0,627	0,522	0,462
4				1,005	0,881	0,807		0,707	0,614	0,51	0,45
5				1,003	0,88	0,806	0,798	0,706	0,614	0,511	0,451
6	1,467	1,347	1,191	0,99	0,866	0,792	0,783	0,691	0,6	0,495	0,436
7	1,479	1,359	1,203	1,002	0,878	0,803		0,703	0,611	0,507	0,447
Temp set	60	50	40	30	25	20	20	15	10	5	2
							stabil over natten				

Tabell 5: Viser oversikt over spenningene målt for de ulike termistorene, ved ulike set-temperaturer. Verdiene mangler i enkelte ruter for å få en best mulig tilpasset kurve. De manglende verdiene var for langt fra de andre verdiene. Tallene 1-7 er målte verdier for spenning i mV for hver av termistorene.

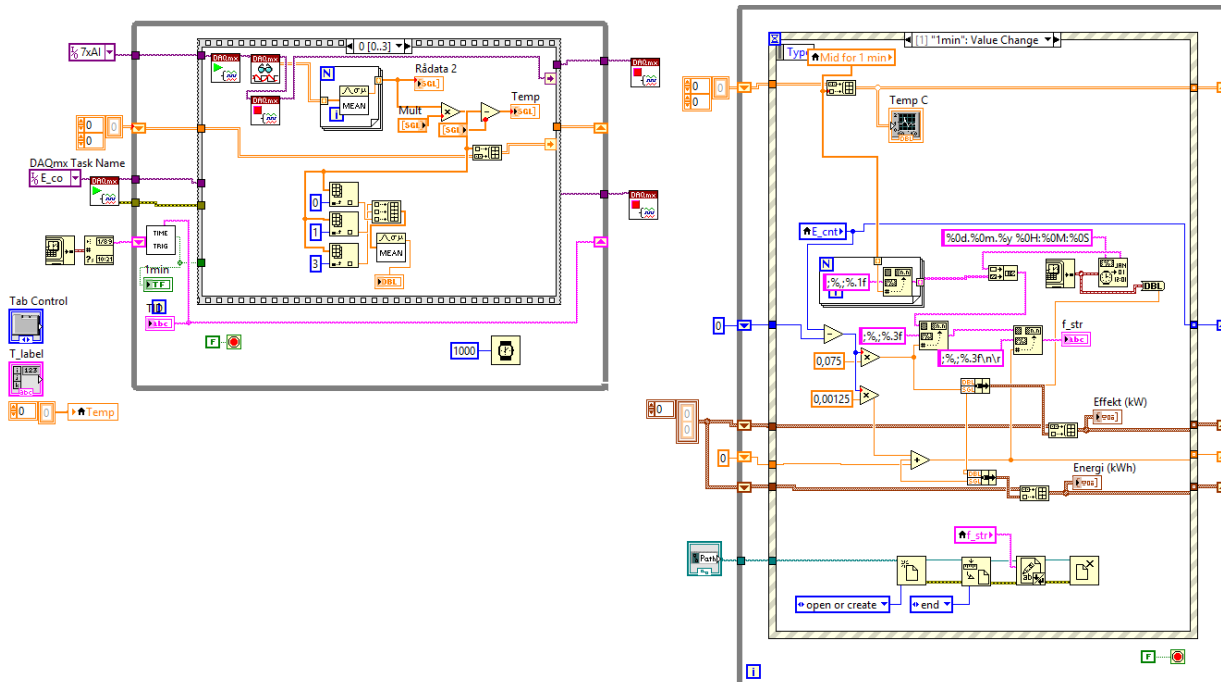


Figur 40 Invers-verdier av ligningen for stigningskurven til spenningsverdiene. Disse verdiene er brukt videre i labview-programmet. En ser at korrelasjonsverdien $R^2=1$ for alle kurvene.

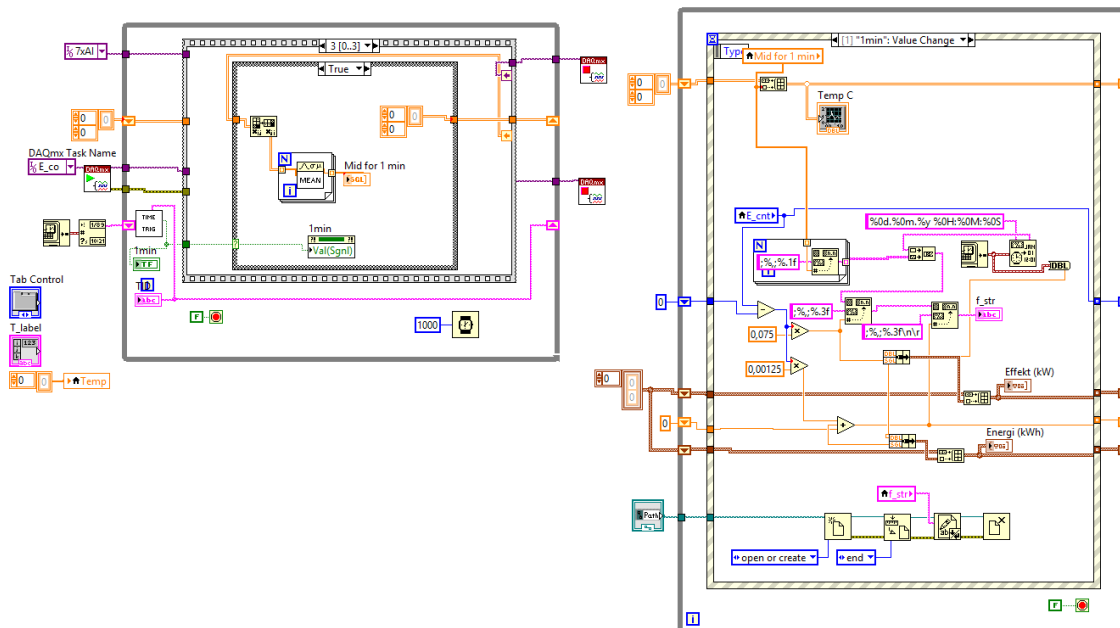
Vedlegg B



Figur 41: Løkken til venstre er første løkke som måler gjennomsnittsverdien til 3 utvalgte temperaturer. Denne verdien brukes som styreverdi for ovnene. Den tar i tillegg alle verdiene for temperatur og samler dem hvert sekund, før alle middelværdisendes til løkken til høyre til slutt. Løkken til høyre er felles for hele programmet og skriver gjennomsnittlige verdier for alle de 7 temperaturene og energi i tillegg til effekt over et minutt.



Figur 42: Løkken til venstre viser sekvensen for energi og effektmåling. Den viser verdier målt hvert sekund på loggedisplayet, og sender disse verdiene videre til løkken til høyre. Denne løkken kjører kun hvert minutt og samler alle verdiene over minuttet og viser siste verdi for energi, og gjennomsnittsverdien for effekten. Disse verdiene skrives så til tekstfilen som er valgt for loggeren.



Figur 43: Løkken til venstre viser sekvensen som sender signalene videre til løkken til høyre for samling av alle gjennomsnittsverdier, og energimålingen hvert minutt. Løkken til høyre er felles for alle delene av programmet, og er den som skriver alle verdiene til loggfilen.

Vedlegg C

Kjøreak betongblanding						
Dato-løpenr	2015-02-04.1					
Sementtype	Reseptmengde (kg/m3)	Volum l	Resept (kg)	Fukt	Korrigerede mengder (kg)	Vatn i sand
Norcem STD-FA	430,2	20	8,604			
Vatn	193,6	20	3,872		3,2785	0,5935
Sand 0/8 mm	907,4	20	18,148	3,27 %	18,7415	
Stein 8/16	807,1	20	16,1420			
Silika	0	20	0			
SP-stoff	4,302	20	0,08604			
Volum blanding (l)	20					
Verknadsgrad silika	1					
Vatn i sand						
Våt vekt (g)	600					
Tørr vekt (g)	581					
Diff.	19					
Fukt%	3,27 %					
Kontroll v/(c+k*s)	0,450023					
SP-stoff start	1,00 %					
				Blandeprosedyre:		
				Tørrblanding (sand+sement+silika)		3 min
				Våtublanding med vatn		1 min
				SP-stoff under blanding		2 min
				Stopp		2 min
				Blanding		2 min

Figur 44: Prosedyre for betongblandingen brukt i støpningen av betongblokken brukt under forsøkene.

Vedlegg D

Time	27.04.2013			28.04.2013			02.05.2013			03.05.2013			
	zone1	control	Outdoor temp	zone1	control	Outdoor temp	zone1	control	Outdoor temp	zone1	control	Outdoor temp	
00:04	8	ON(8)	7,3	6	OFF		5,4	9	ON(9)	5,8	10	ON(10)	8,3
00:34	8	ON(8)		6	OFF			9	ON(9)		10	ON(10)	
01:04	8	ON(8)	5,5	6	OFF		4,2	9	ON(9)	6,2	10	ON(10)	7,9
01:33	8	ON(8)		6	OFF			9	ON(9)		10	ON(10)	
02:03	8	ON(8)	5,3	6	OFF		3,3	9	ON(9)	5,4	10	ON(10)	6,9
02:33	8	ON(8)		6	OFF			9	ON(9)		10	ON(10)	
03:03	8	ON(8)	5	6	OFF		3,1	9	ON(9)	5	10	ON(10)	6,9
03:33	7	OFF		6	OFF			9	ON(9)		10	ON(10)	
04:06	6	OFF	3,8	6	OFF		3,1	9	ON(9)	4,7	10	ON(10)	6,6
04:36	5	OFF		6	OFF			9	ON(9)		10	ON(10)	
05:06	4	OFF	2,7	6	OFF		3,2	6	OFF	4,5	10	ON(10)	
05:37	3	OFF		3	OFF			5	OFF		6	OFF	
06:07	3	OFF	2,4	3	OFF		1,7	5	OFF	4,4	6	OFF	6
06:38	3	OFF		3	OFF			5	OFF		6	OFF	
07:09	2	OFF	1,6	3	OFF		2,6	6	OFF	4,9	6	OFF	6
07:39	2	OFF		4	OFF			6	OFF		6	OFF	
08:10	2	OFF	1,7	4	OFF		3,7	6	OFF		7	OFF	6,4
08:41	2	OFF		5	OFF			6	OFF		7	OFF	
09:12	2	OFF	2,4	5	ON(7)		4,8	7	OFF	7,6	7	OFF	7,1
09:43	2	OFF		6	ON(7)			8	OFF		8	OFF	
10:14	2	OFF	3,3	7	ON(7)		5,4	8	OFF	9,4	9	OFF	8,7
10:45	2	OFF		7	ON(7)			9	ON(9)		10	OFF	
11:16	2	OFF	5,7	7	ON(7)		6,3	9	ON(9)	8,5	10	ON(10)	9,9
11:46	2	OFF		7	ON(7)			9	ON(9)		10	ON(10)	
12:16	3	ON(9)	6,6	7	ON(7)		6,3	9	ON(9)	9,1	10	ON(10)	10,9
12:46	8	ON(9)		7	ON(7)			9	ON(9)		10	ON(10)	
13:16	8	ON(9)	6,9	7	ON(7)		6,9	9	ON(9)	9,8	10	OFF	11,7
13:46	8	ON(9)		7	ON(7)			9	ON(9)		10	OFF	
14:17	8	ON(9)	7,4	7	ON(7)		7,4	9	ON(9)	10,4	10	OFF	11,2
14:47	8	ON(9)		7	ON(7)			9	ON(9)		10	OFF	
15:17	8	ON(9)	7,4	7	ON(7)		7,8	9	ON(9)	11,9	10	OFF	11,6
15:47	8	ON(9)		7	ON(7)			9	ON(9)		10	OFF	
16:18	9	ON(9)	7,4	7	ON(7)		7,6	9	ON(9)	11,4	10	OFF	12,3
16:48	9	ON(9)		7	ON(7)			9	ON(9)		10	OFF	
17:18	9	ON(9)	7,4	7	ON(7)		7,3	11	ON(9)	11,9	10	OFF	11,4
17:48	9	ON(9)		7	ON(7)			11	OFF		13	OFF	
18:19	9	ON(9)	7,1	7	ON(7)		7,6	11	OFF	11,4	13	OFF	11,9
18:49	9	ON(9)		7	ON(7)			11	OFF		13	OFF	12,3
19:20	9	ON(9)		7	ON(7)			11	OFF		13	OFF	
19:50	9	ON(9)	6,6	7	ON(7)		7,1	11	OFF	10,7	12	OFF	11,3
20:21	9	ON(9)		7	ON(7)			10	OFF		12	OFF	
20:52	9	ON(9)	6,1	7	ON(7)		7	10	OFF	10,8	12	OFF	10,8
21:22	9	ON(9)		7	ON(7)			10	OFF		12	OFF	
21:53	9	ON(9)	5,7	7	ON(7)		7,1	10	OFF	10,6	11	ON(11)	10,3
22:24	9	ON(9)		7	ON(7)			10	OFF		11	ON(11)	
22:54	9	ON(9)	5,7	7	ON(7)		7,2	10	ON(10)	9,9	11	ON(11)	9,5
23:25	9	ON(9)		7	ON(7)			10	ON(10)		11	ON(11)	
23:55	9	ON(9)	5,7	7	ON(7)		7,1	10	ON(10)	9,3	11	ON(11)	9,4

Tabell 6: Viser resultatene for en oljefylt radiator som trekker en effekt 2200W, på Hvaler. Time viser tiden på døgnet målingene er logget. Zone 1 (C) viser målt innendørstemperatur i garasjen. Control viser hvilken temperatur rommet er satt til å holde, og om ovnen er av eller på. (ON/OFF). Outdoor temp viser målt utendørs-temperatur.

Time	13.04.2015			14.04.2015			15.04.2015			16.04.2015			
	zone1 (C)	Control	Outdoor temp	zone1 (C)	Control	Outdoor temp	zone1	Control	Outdoor temp	zone1	Control	Outdoor temp	Zone 1
00:04	5	OFF	5,2	5	OFF	4,4	5 ON(5)	7,1	7 OFF			6,4	7
00:34	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
01:04	5	OFF	5	5	OFF	4,4	5 ON(5)	7,5	7 OFF			6,3	7
01:35	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
02:05	5	OFF	5,1	5	OFF	4,4	5 ON(5)	7	7 OFF			6,5	7
02:35	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
03:05	5	OFF	4,5	5	OFF	4,5	5 ON(5)	7,1	7 OFF			6,1	7
03:35	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
04:06	5	OFF	4,4	5	OFF	4,2	5 ON(5)	7,3	7 OFF			6,1	7
04:36	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
05:06	5	OFF	4,5	5	OFF	4,1	5 ON(5)	6,4	7 OFF			5,5	7
05:37	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
06:07	5	OFF	4,5	5	OFF	4,1	5 ON(5)	6,1	7 OFF			5,6	7
06:38	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
07:09	5	OFF	5,4	5	OFF	4,2	5 ON(5)	6	7 OFF			5,5	7
07:39	5	OFF		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
08:10	5	Åpnet garasje ON(5)	5,4	5	OFF	4,7	5 ON(5)	5,9	7 OFF			6,5	7
08:41	4	Åpnet garasje ON(5)		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
09:12	4	Åpnet garasje ON(5)	6,3	5	OFF	3,5	5 ON(5)	5,5	7 OFF			6,9	7
09:43	4	ON(5)		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
10:14	4	ON(5)	7,5	5	OFF	3,2	5 ON(5)	5,7	7 OFF			7,5	7
10:45	4	ON(5)		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
11:16	4	ON(5)	9,9	5	OFF	3,5	5 ON(5)	5,6	7 OFF			6,7	7
11:46	4	ON(5)		5	OFF		5 ON(5)		7 OFF				7
12:16	5	ON(5)	10,4	5	OFF	4,4	5 ON(5)	5,7	7 OFF			9,5	7
12:46	5	ON(5)		5	OFF		5 ON(5)		8 OFF				8
13:16	5	ON(5)	10,8	5	OFF	4,5	5 ON(5)	5,7	8 OFF			10,7	8
13:46	5	ON(5)		5	OFF		5 ON(5)		8 OFF				8
14:17	5	ON(5)	10,2	5	OFF	5,7	5 ON(5)	5,7	9 OFF			10,5	9
14:47	5	ON(5)		5	OFF		5 ON(5)		9 OFF				9
15:17	5	ON(5)	10,5	5	OFF	6	7 ON(7)	5,9	10 OFF			10,7	10
15:47	5	ON(5)		6	ON(5)	6,2	7 ON(7)		10 OFF				10
16:18	5	ON(5)		6	ON(5)		7 ON(7)		10 OFF				10
16:48	5	ON(5)	11,1	6	ON(5)	6,4	7 ON(7)	6,1	10 ON(11)			10	10
17:18	5	ON(5)		6	ON(5)		7 ON(7)		11 ON(11)				11
17:49	5	ON(5)	11,2	6	ON(5)	6,7	7 ON(7)	6,4	10 ON(11)			9,5	11
18:19	5	ON(5)		6	ON(5)		7 ON(7)		11 ON(11)				11
18:49	5	ON(5)	11,5	7	ON(5)	7,2	7 OFF	6,9	11 ON(11)			6,9	11
19:20	5	ON(5)		7	ON(5)		7 OFF		11 ON(11)				11
19:50	5	ON(5)	10,5	7	ON(5)	7,5	7 OFF	6,5	11 ON(11)			9,5	11
20:21	5	ON(5)		7	ON(5)		7 OFF		11 ON(11)				11
20:52	5	ON(5)	9,5	7	ON(5)	8,5	7 OFF	7,6	11 ON(11)			9,1	11
21:22	5	ON(5)		7	ON(5)		7 OFF		11 ON(11)				11
21:53	5	ON(5)	8,5	7	ON(5)	7,9	7 OFF	7,4	11 OFF			7,7	11
22:24	5	ON(5)		7	ON(5)		7 OFF		11 OFF				11
22:54	5	ON(5)	7,5	7	ON(5)	8	7 OFF	7	11 OFF			7,4	11
23:25	5	ON(5)		7	ON(5)		7 OFF		11 OFF				11
23:55	5	ON(5)	6	8	ON(5)	7,1	7 OFF	7,4	11 OFF			7,5	11

Tabell 7: Viser resultatene for Dimplex QM-100 på Hvaler. Time viser tiden på døgnet målingene er logget. Zone 1 (C) viser målt innendørstemperatur i garasjen. Control viser hvilken temperatur rommet er satt til å holde, og om ovnen er av eller på. (ON/OFF). Outdoor temp viser målt utendørstemperatur.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no