

Analyse av varmepumpesystem i barnehage rehabilitert til passivhus- standard

Øystein Rønneseth

Master i energi og miljø
Innlevert: juni 2017
Hovudrettleiar: Jørn Stene, EPT

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for energi- og prosessteknikk

EPT-M-2017-71

MASTEROPPGAVE

for

Student Øystein Rønneseth

Våren 2017

Analyse av varmepumpesystem i barnehage rehabilitert til passivhus-standard

*Analysis of a Heat pump System in a Kindergarten Refurbished to Passive House Standard***Bakgrunn og målsetting**

Medbroen gårdsbarnehage holder til på Medbroen gård i Stjørdal, og har plass til ca. 60 barn i alderen 0-6 år. Barnehagen på ca. 900 m² er lokalisert i den gamle driftsbygningen fra 1908, som i 2013-15 gjennomgikk en omfattende ombygging til passivhus-standard. Den unike bygningen med tekniske installasjoner oppfyller kravene i den norske passivhus-standard NS 3701 «Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – yrkesbygninger». Et væske/vann varmepumpeanlegg med ca. 13 kW nominell varmeytelse dekker grunnlastoppvarming av rom, ventilasjonsluft og varmt tappevann, mens en 25 kW elektrokjel benyttes som spisslastvarme. Varmepumpeanlegget er tilknyttet et varmeopptakssystem bestående av ca. 600 m med kollektorslanger i plast, som er lagt delvis i jord og delvis i elva like ved gården. Varmedistribusjonssystemet er dimensjonert for et lavt temperaturnivå (35/30 °C), og består av gulvvarmesløyfer i de fleste rommene samt et varmebatteri i ventilasjonsanlegget. De tekniske installasjonene styres og reguleres av et avansert SD-anlegg, og installasjonene er godt instrumentert med bl.a. elektriske og termiske effekt- og energimålere for å kunne foreta en detaljert energioppfølging.

Studenten skal gi en grundig beskrivelse av og analysere bygningen og de tekniske installasjonene, med fokus på systemet for varmeproduksjon/-distribusjon. En sentral del av arbeidet vil være kvalitetssikring av målesystemet samt innsamling, bearbeiding og analyse av måleresultater fra SD-anlegget. Det skal også presenteres/vurderes forslag til forbedringer for varmesystemet.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Grundig beskrivelse av bygning og tekniske installasjoner med hovedfokus på anlegget for varmeproduksjon og –distribusjon
2. Kvalitetssikring av målesystemet
3. Innsamling og bearbeiding av måleresultater med presentasjon og analyse av bl.a. varmepumpeanleggets varmeytelse og effektfaktor (COP) ved varierende varmebehov
4. Forslag til forbedringer av varmesystemet med spesiell fokus på varmepumpeanlegget

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosessteknikk.

Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, institutt navn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømmingsteknisk, varmeteknisk)
- Feltarbeid – gjennomgang av varmeanlegg, feltmålinger

NTNU, Institutt for energi- og prosessteknikk, 15. januar 2017



Jørn Stene
Faglig ansvarlig/veileder

Samandrag

Medbroen gardsbarnehage er eit unikt prosjekt, sidan eit over 100 år gammalt gardsbygg er blitt rehabilitert til passivhusstandard. Prosjektet har vist at så omfattande rehabilitering er mogleg, og framstår som eit førebileteprosjekt for å hente ut det store energisparepotensialet i eksisterande bygningsmasse, som vil vere eit viktig steg på vegen mot lågutsleppssamfunnet.

Varmesystemet består av følgjande hovudkomponentar:

- Varmepumpe: Daikin Altherma GS 3-13 kW, inkl. tappevasstank (180 L), elektriske varmeelement (2 x 3 kW) og vekselventil for prioritert tappevassoppvarming.
- Jordkolektorsystem som varmekjelde, med 500 m aktiv røylengde fordelt på to kursar.
- Akkumuleringstank (200 L) som buffer for romoppvarming med integrert elkjel som spisslast med 4 x 5 kW elektriske varmeelement.
- Ekstern varmtvassberedar: OSO Super S 300 (287 L) med 3 kW elektrisk effekt.
- Golvvarmeanlegg med dimensjonerande effektbehov og temperaturnivå høvesvis 19 kW og 35/30 °C.
- Ventilasjonsaggregat med roterande varmegjenvinnar og vassvarmebatteri med dimensjonerande effektbehov og temperaturnivå høvesvis 21,54 kW og 45/35 °C.

Målet med oppgåva var å:

- Skildre bygning og tekniske installasjonar med hovudfokus på anlegget for varmeproduksjon og -distribusjon
- Utføre ein kvalitetssikring av målesystemet
- Samle inn og tilarbeide måleresultat med presentasjon og analyse av blant anna varmpumpeanleggets varmeyting og effektfaktor (COP) ved varierende varmebehov
- Føreslå forbetringar av varmesystemet med spesiell fokus på varmpumpeanlegget

Sidan det ikkje var mogleg å overvake varmpumpa, samt at den var ute av drift store delar av 2016, var det ikkje mogleg å finne reelle verdiar for COP og SCOP, eller samanlikne målt energibruk med prosjekterte verdiar for eit fullt kalenderår. Det vart funne nokon manglar og svakheiter ved målesystemet, og det er derfor foreslått ekstra instrumentering, samt å flytte ein av energimålarane.

Gjennom analyse av måledata og synfaringar, vart det avdekka fleire feil ved varmesystemet på Medbroen gardsbarnehage. Dette gjaldt blant anna i samband med jordkolektorane, utforming av akkumuleringstanken, regulering av varmpumpa i forhold til romoppvarming og tappevassoppvarming, samt regulering av spisslasta. Desse problema har ført til låg COP for varmpumpa, samt betydeleg bruk av spisslast som har auka driftskostnadane. Som følgje av desse feila vurderast varmesystemet til å ha fungert relativt dårleg. Det må derfor utførast nokon forbetringstiltak for å oppnå det fulle potensialet for energisparing og økonomisk drift av anlegget.

Enkelte av feila ved anlegget er allereie utbetra eller planlagd å utbetre. Grunna framandlekamar i varmeopptakssystemet, var innreguleringsventilane defekte i minimum fem månadar før dei vart byta ut. Dette førte til lågare, samt ubalansert volumstraum i kolektorkursane, slik at varmpumpa fekk for lågt varmeuttak frå omgivnadane, noko som auka energibruken til

varmesystemet betrakteleg. Veksellventilen i varmpumpe mangla og ein skrue, som førte til lekkasje av varmt vatn mot romoppvarmingssystemet medan varmpumpe var i tappevassmodus. Dette gav alarmerande utslag i SD-anlegget og kompliserte analysen av varmesystemet, fram til det vart oppdaga og ordna. Ved slutten av arbeidet med rapporten vart det i tillegg montert eit kort i varmpumpe, som skal mogleggjere overvaking og regulering frå SD-anlegget. Dersom det var mogleg å overvake varmpumpe frå oppstarten, ville problema med anlegget blitt oppdaga og utbetra på eit tidlegare stadium.

På bakgrunn av problema med anlegget er det føreslått følgjande forbetringstiltak, basert på eksisterande systemløyning og at tiltaka skal vere rimelege og enkle å gjennomføre:

- Timeplanbasert tappevassoppvarming for varmpumpe i staden for oppvarming etter Reheat-prinsippet. Det vil føre til høgare energidekningsgrad for varmpumpe og redusert bruk av spisslast, sidan behovet for varmt tappevatn er relativt lite samanlikna med romoppvarmingsbehovet.
- Utskifting av akkumuleringstanken med ein høgare og tynnare modell med tre koplingspunkt i staden for fire, samt spisslast i toppen i tilknytning til turrøyret til golvvarmeanlegget og varmebatteriet. Ein slik tank vil få mindre omrøyring og betre temperatursjikting, samtidig som ein unngår at elkjelen varmar returvatnet til varmpumpe.
- Regulering av spisslast slik at den berre kan slå inn då varmpumpe på full kapasitet ikkje greier å levere tilstrekkeleg varme til varmesystemet.
- Logging av volumstraumar for dei termiske energimålarane i varmesystemet, samt temperaturverknadsgraden til varmegjenvinnaren i ventilasjonsanlegget.

Etter dei føreslegne endringane er blitt gjennomført bør det følgjast nøye med på drifta av anlegget for å kontrollere om alt fungerer slik det skal. Forutan dette er følgjande tiltak føreslått som vidare arbeid:

- Overvaking av varmpumpe i SD-programvara for å vurdere driftsforhold og COP.
- Berekning av SCOP for å samanlikne med verdiar oppgitt for varmpumpemodellen.
- Samanlikne målt energi- og effektbruk for eit fullt kalenderår med prosjekterte verdiar.
- Undersøking av energibruken til ventilasjonsanlegget, sidan denne er vesentleg høgare enn prosjektert.
- Isolering av varme røyrcoplingar og andre komponentar på teknisk rom.

Til trass for problema med varmesystemet er dette prosjektet eit eksepsjonelt klimatiltak, og etter dei føreslegne forbetringane er gjennomført er det venta å bli eit velfungerande anlegg. Funna gjort i denne rapporten kan forhåpentlegvis bidra både til betre drift av det aktuelle anlegget og at ein unngår liknande feil for tilsvarande framtidige prosjekt.

Abstract

Medbroen kindergarten is a unique project, as a farm building that is over 100 years old is refurbished to passive house standard. The project has shown that such extensive refurbishment is possible, and the project appears as a role model for achieving the energy saving potential for existing buildings, which will be an important step on the road to the low emission society.

The heating system consists of the following main components:

- Heat pump: Daikin Altherma GS 3-13 kW, incl. domestic hot water tank (180 L), electric heating elements (2 x 3 kW) and shuttle valve for prioritized heating of DHW.
- Soil collector system as heating source, with 500 m active pipe length divided on two pipes.
- Accumulator tank (200 L) as buffer for the space heating system with integrated electric heater as top load with 4 x 5 kW electric heating elements.
- External water heater: OSO Super S 300 (287 L) with 3 kW electric power.
- Floor heating system with dimensioning power need and temperature level 19 kW and 35/30 °C respectively.
- Air handling unit with rotating heat exchanger and water heating battery with dimensioning power need and temperature level 21,54 kW and 45/35 °C respectively.

The purpose of the assignment was to:

- Describe the building and the technical installations, mainly focusing on the heating system.
- Perform a quality assurance of the measurement system.
- Collect and present measuring results and analyze among others the heating system's heating performance and power factor (COP) at varying heating demands.
- Suggest improvements for the heating system focusing especially on the heat pump system.

As it was not possible to monitor the heat pump, together with that it was not operational during large parts of 2016, it was not possible to find realistic values for COP and SCOP, or to combine measured energy consumption to calculated values for a full year. There was discovered some weaknesses and missing instrumentation, so it is suggested to enable some extra measurements, as well as moving one of the thermal energy meters.

There were identified several errors with the heating system at Medbroen kindergarten through analysis and site visits. The errors were connected to the ground collectors, the design of the accumulator tank, regulation of the heat pump towards space heating and heating of DHW and regulation of the top load. These problems have led to low COP for the heat pump, together with significant use of the top load, which both has increased the operating costs. As a consequence of these errors, the performance of the heating system is considered to be poor. To achieve the full potential for energy saving and economic operation, it is thereby necessary to perform some improvement measures.

Some of the errors have already been, or is planned to be improved. Contaminants in the ground collector system led to defective balancing valves which was not replaced for a minimum of five months. This led to lower and unbalanced volume flow rates in the collector system, leading to lower heat gain for the heat pump, which again increased the energy consumption for the heating system significantly. The shuttle valve in the heat pump was also missing a

screw, which led to hot water leaking over towards the space heating system while the heat pump was in DHW mode. This led to alarming fluctuations in the central control and monitoring system and complicated the analysis of the heating system up until it was discovered and repaired. At the end of the project, there was installed a card in the heat pump, which is supposed to render possible surveillance and control of the heat pump from the central control and monitoring system. If this was possible from the beginning, the problems would have been discovered and repaired at an earlier stage.

Based on the problems with the heating system and the current system solution, the following improvements are suggested, which should be relatively cheap and simple to carry out:

- Scheduled heating of DHW for the heat pump instead of heating by the Reheat-principle. This will lead to a higher energy coverage factor for the heat pump while reducing the use of the top load, as the need for DHW is relatively low compared to the space heating need.
- Changing the accumulator tank with a taller and thinner model with three junction points instead of four, and top load at the top of the tank in conjunction with the supply pipe for the floor heating system and the heating battery. Such a tank will lead to less stirring and better thermal stratification, while at the same time avoiding that the top load heats the return water for the heat pump.
- Controlling the top load in such a manner that it is only used when the heat pump is already running at full capacity and cannot cover the entire heating demand.
- Logging the volume flow rates for the thermal energy meters in the heating system, and the temperature efficiency for the heat recovery unit in the ventilation plant.

After the suggested modifications has been implemented, the heating system should be thoroughly monitored to ensure everything is working properly. Aside from this, the following measures are suggested as further work:

- Monitoring the heat pump in the central control and monitoring system in order to evaluate the operating conditions and the COP.
- Calculating SCOP in order to compare it with the values given for the heat pump model.
- Comparing measured energy and power consumption for a full year with the calculated values.
- Investigate the energy consumption for the air handling unit, as it is significantly larger than the calculated values.
- Insulating hot pipe couplings and other components in the technical room.

Despite the problems with the heating system, this project is considered to be an exceptional measure to reduce greenhouse gas emissions and is expected to be a well-functioning system after the suggested improvements. In addition to improving the operation of the current heating system, the findings in this report may hopefully contribute to avoiding similar errors for future projects.

Forord

Denne rapporten er skrevet i forbindelse med emnet *TEP4920 Energibruk og energiplanlegging – Varmeenergi, masteroppgave*, ved Institutt for energi- og prosesseteknikk. Emnet utgjør 30 studiepoeng, og hører til siste året på sivilingeniørutdanninga.

Rapporten omhandlar varmeanlegget på Medbroen gardsbarnehage på Stjørdal utanfor Trondheim. Bygget var opphavleg ein låve frå 1908, men vart rehabilitert til passivhusstandard i 2015. Energibruken til oppvarming av bygningar blir ofte høgare i praksis enn kva som blir prosjektert. Målet med denne oppgåva har derfor vore å analysere varmeanlegget i eit konkret bygg og undersøkje om energibruken er i høve til dei prosjekterte verdiane, og eventuelt finne årsakene om den ikkje er det. Kompetanse på dette området kan bidra til at ein unngår liknande feil ved prosjektering av framtidige bygg.

Ein stor takk rettast til vegleiaren min Jørn Stene, for fantastisk oppfølging med tilsending av rapportar og stort engasjement. Han var alltid tilgjengeleg, svarte grundig på kort tid og kom med mykje relevante faglege innspel.

Eg vil og takke byggeigaren Hjørdis Kindem Thyholt for god tilrettelegging for arbeidet med oppgåva, og for å ha satt meg i kontakt med dei rette personane for å få informasjon om anlegget. I tillegg vil eg takke gardsstyraren, Stian Kvam, som gav meg tilgang til dei tekniske romma i bygget, samt ordna arbeidsplass til meg då eg var på synfaringar.

Takk også til Kjell Sveistrup og Hans Olav Svingen i Top VVS AS for innsikt i oppbygginga og reguleringa av varmeanlegget, samt tilgang til avanserte innstillingar på varmepumpa.

Ein stor takk rettast også til Enoco AS, spesielt Anders Hustad, for innsikt i både EOS-nettsida og programvara for SD-anlegget, samt fleire nyttige samtaler om anlegget og fagfeltet byggautomasjon.

Sist, men ikkje minst vil eg takke min betre halvdel og sambuar, Tonje Løvstakken, for all støtta og diskusjonane rundt oppgåva, samt for å vere sjef på kjøkkenet, medan eg la ned lange dagar under arbeidet med masteroppgåva.

Trondheim, 11.06.2017

Øystein Rønneseth

Figurliste

Figur 1	Femdelt rangering for oppvarmingskarakter, der delen fossile brensler eller direkteverkande elektrisitet må ligge under dei oppgitte verdiane for å oppnå fargegraderingane. (Energimerking, 2009a)	6
Figur 2	Medbroen gardsbarnehage før og etter rehabilitering. (Thyholt, 2015a).....	8
Figur 3	Energimerket til Medbroen gardsbarnehage. (Thyholt, 2015b).....	11
Figur 4	Prinsippskisse av varmesystemet.	13
Figur 5	Bilete frå teknisk rom. Akkumuleringstank nedst til venstre, varmpumpa til høgre og to kursar til jordvarmeanlegget bak varmpumpa.	14
Figur 6	Bilete av akkumuleringstanken til venstre og utsnitt frå prinsippskissa til høgre.	15
Figur 7	Bilete av den eksterne varmtvassberedaren (OSO Super S 300) til venstre og utsnitt frå prinsippskissa til høgre.	16
Figur 8	Varmpumpa Daikin Altherma GS. (Daikin, 2014)	18
Figur 9	Bilete av utetemperatur-kompenseringskurven frå displayet til varmpumpa.	18
Figur 10	Plassering av kollektorrrøyra til varmeopptakssystemet. (Thyholt, 2014)	19
Figur 11	Bilete av området langs elva der kollektorane er plassert ved flo (til venstre) og fjære (til høgre). Bileta er tatt 8.3.2017 kl. 10 og kl. 15.	20
Figur 12	Fordeling av golvvarmesløyfer i 1. etasje. (Sveistrup, 2014)	22
Figur 13	Fordeling av golvvarmesløyfer i 2. etasje. (Sveistrup, 2014)	23
Figur 14	Bilete frå loftet som viser ventilasjonsføringane til dei ulike romma.	24
Figur 15	SkjermBILETE frå ventilasjonsfanen i SD-programvara 12.5.2017 kl. 17:50. Trevegsventilen til varmebatteriet er lokalisert nede til høgre på BILETET.	25
Figur 16	Flytskjema for ventilasjonsaggregatet. (Systemair, 2014).....	25
Figur 17	Bilete av toppen av varmpumpa utan deksel. Trevegsventilen som styrer om varmpumpa er i romoppvarming- eller tappevassmodus manglar ein skrue og var festa med strips.	27
Figur 18	Bilete av ein av energimålarane på teknisk rom. Denne er for "Varmpumpe produksjon" og BILETET vart teke 4.4.2017.	29
Figur 19	SkjermBILETE av varmesystemet frå SD-anlegg, tatt 28.2.2017 kl. 12:00.....	30
Figur 20	Plassering av temperaturfølar som styrer utetemperatur-kompenseringskurven i varmpumpa.	32
Figur 21	Bilete av innstikksventilen for temperaturfølar i turrøyret til varmebatteriet. ...	33
Figur 22	Utsnitt frå prinsippskissa som viser plasseringa av energimålar til "Tappevann forbruk" og forslag til ny plassering.....	34
Figur 23	Oversikt over målt utetemperatur og formålsdelt energibruk per veke for golvvarme, varmt tappevatn og ventilasjonsvarme i perioden 1.1.2017-14.5.2017. (Enoco AS, 2017)	39
Figur 24	SkjermBILETE frå EOS (24.5.2017) med oversikt over forbruk til golvvarme og ventilasjonsvarme.	41
Figur 25	Avlese sensorinformasjon frå varmpumpa 8.3.2017.....	42
Figur 26	Nedre del av varmpumpa etter den er opna. Det er isolert rundt komponentane og ein kan sjå både sirkulasjonspumpa til brinekretsen og ekspansjonstanken.	43
Figur 27	Avlese sensorinformasjon frå varmpumpa 4.4.2017.....	44
Figur 28	Avlese sensorinformasjon frå varmpumpa 2.5.2017.....	45
Figur 29	SkjermBILETE frå SD-programvara (9.3.2017) som viser innslag av elkjel i høve til temperatursvingingane i varmesystemet. Tur- og returtemperaturar for varmpumpa er vist med	

raud og blå kurve, medan innkopling av elkjel i akkumuleringstanken er vist med gul kurve....	47
Figur 30 Skjermbilete frå SD-programvara 8.3.2017. Grøn kurve viser turtemperatur frå varmpumpa, medan gul kurve viser returtemperatur.....	49
Figur 31 Skjermbilete frå SD-programvara 8.3.2017 kl. 11:00. Varmepumpa er i tappevassmodus og akkumuleringstanken er tømt for varmt vatn.	51
Figur 32 Skjermbilete frå SD-programvara 30.3.2017 kl. 09:30. Varmepumpa har akkurat skifta frå tappevassmodus til romoppvarmingsmodus.	52
Figur 33 Skjermbilete frå SD-programvara for eit døgn (14.3.2017), som viser samanhengen mellom turtemperaturane i varmesystemet. Raud kurve er turtemperatur frå varmpumpa, medan rosa og gul kurve gjeld høvesvis til varmebatteriet og golvvarmeanlegget.	53
Figur 34 Skjermbilete av varmesystemet i SD-anlegg 8.3.2017 kl. 10:50. Turtemperaturen til golvvarmeanlegget (19,3 °C) er høgare enn returtemperaturen (22,1 °C).	55
Figur 35 Bilete av akkumuleringstanken til venstre og utsnitt av prinsippskissa til høgre. .	57
Figur 36 Døme på ein seriekopla akkumuleringstank. (VVS-kunnskap, 2017)	58
Figur 37 Døme på ein parallellkopla akkumuleringstank. (VVS-kunnskap, 2017).....	58
Figur 38 Skjermbilete frå SD-programvara i månadsvisning (31.3-1.5.2017), som viser returtemperatur til varmpumpa (blå kurve) og turtemperatur til golvvarmeanlegget (raud kurve).	59
Figur 39 Skjermbilete frå fanen Maksimalvokter i SD-programvara (tatt 8.3.2017).	60
Figur 40 Skjermbilete frå SD-programvara som viser innslag av elkjel siste døgn, tatt 3.6.2016.	61
Figur 41 Skjermbilete frå SD-programvara (14.3.2017 kl. 18). Gul kurve viser turtemperatur for varmt tappevatn frå varmpumpa medan grøn kurve viser returtemperatur til varmpumpa.	64
Figur 42 Skjermbilete frå SD-programvara som viser tur- og returetemperatur til varmpumpa (raud og blå kurve) samt innkopling av elkjel siste døgn (tatt 4.5.2017).....	65
Figur 43 Skjermbilete frå SD-programvara (4.5.2017) som viser tur- og returtemperatur for golvvarmeanlegget over eit døgn.	66
Figur 44 Skjermbilete frå SD-programvara 8.5.2017, som viser tur- og returtemperatur til varmpumpa (raud og blå kurve), samt innslag av elkjel (gul kurve).....	67
Figur 45 Månadsvisning for tappevasstemperaturar (raud og blå kurve) samt innkopling av elkjel (gul kurve), tatt 10.5.2017.	68
Figur 46 Bilete som viser varmeopptaksområdet frå synfaring 2.5.2017.	69
Figur 47 Utklipp frå EOS som viser energiproduksjonen til varmpumpa, straumforbruket til elkjelen i akkumuleringstanken og utetemperaturane per månad for 2016. (Enoco AS, 2017) ..	70
Figur 48 Bilete av innreguleringsventilane som vart byta ut. Det kan skimtast noko grums i midten av ventilen som følgje av ureinheitar i systemet.	70
Figur 49 Relativ energisparing ved ulike COP. (Stene, 2016a)	74
Figur 50 Parallellkopla tank med tre koplingspunkt og spisslast i toppen.	78
Figur 51 Utviklingsperspektiv for arbeidsmedium for varmpumper. (Stene, 2017a).....	82
Figur 52 Samanlikning av akkumulerte klimagassutslepp over 60 år for dei tre ulike modellane. (Fuglseth, 2016)	84
Figur 53 Samanlikning av levert energi til drift av bustaden med og utan oppgradering, samt i forhold til TEK 10, ved ulike berekningsmodellar. (Fuglseth, 2016).....	85

Tabelliste

Tabell 1	Energikarakterskalaen for ulike bygningskategoriar, oppdatert 10.06.2015. (Energimerking, 2009a)	6
Tabell 2	Krav i NS 3701 og oppnådde verdier for bygningen. (Standard Norge, 2012, Thyholt, 2015b).....	9
Tabell 3	Energibudsjett for Medbroen gardsbarnehage, berekna i SIMIEN. (Thyholt, 2015b)	10
Tabell 4	Levert energi til Medbroen gardsbarnehage, berekna i SIMIEN. (Thyholt, 2015b) .	10
Tabell 5	Spesifikasjonar for varmepumpeaggregatet. (Daikin, 2014, Daikin Europe N.V., 2015)	17
Tabell 6	Oversikt over fordelarskapa i golvvarmesystemet med tilhøyrande kursar, volumstraum, areal for golvvarmesløyfene og effekt. (Sveistrup, 2014).....	21
Tabell 7	Oversikt over måleinstrument på Medbroen gardsbarnehage. (Hustad, 2017).....	31
Tabell 8	Oversikt over gjennomsnittleg, høgste og lågaste verdi for varmeyting og COP for perioden 1.1.2017-17.5.2017.....	36
Tabell 9	Oversikt over totalt, gjennomsnittleg og spesifikt forbruk til golvvarmeanlegg, ventilasjonsvarme, varmt tappevatn og romoppvarming totalt for perioden 1.1.2017-17.5.2017.	38
Tabell 10	Samanlikning mellom berekna energibehov og målt energibruk for bygget.	40
Tabell 11	Driftsdata avlese i displayet på varmepumpa ved synfaringar 4. april og 2. mai 2017.	46
Tabell 12	Temperaturnivå i varmesystemet i perioden 02.03.2017-11.05.2017, gjennomsnittlege, høgste og lågaste verdier.	54

Innholdsliste

Samandrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Figurliste.....	vi
Tabelliste	viii
1 Innleiing	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Avgrensingar	2
1.4 Metode	2
2 Norsk regelverk og støtteordningar	4
2.1 Byggteknisk forskrift.....	4
2.2 Passivhusstandard.....	5
2.3 Energimerking	5
2.4 Enova SF.....	6
3 Beskriving av bygning og energibehov.....	8
3.1 Medbroen gardsbarnehage.....	8
3.2 Rehabilitering til passivhusstandard.....	8
3.3 Berekna energibehov	9
4 Varmesystemet	12
4.1 Oversikt over varmesystemet	12
4.2 Varmepumpa	16
4.3 Varmeopptakssystem - jordvarme	19
4.4 Golvvarmeanlegg.....	21
4.5 Ventilasjonssystem	24
4.6 Endringar i varmesystemet i løpet av våren 2017	26
5 Måleresultat	29
5.1 Oversikt over installert måleutstyr	29
5.2 Kvalitetssikring av målesystemet	33
5.2.1 Plassering av måleinstrument.....	33
5.2.2 Data frå EOS-nettside og SD-programvare.....	35
5.3 Driftsresultat	35
5.3.1 Gjennomsnittleg varmeyting og COP	35

5.3.2	Formålsdelt energibruk	37
5.3.3	Samanlikning av driftsresultat og berekna energibehov	40
5.4	Målingar frå displayet på varmpumpa	42
5.4.1	Momentanverdiar for temperaturnivå og volumstraum	42
5.4.2	Presentasjon av driftsdata for varmpumpa	45
6	Analyse av varmesystemet	49
6.1	Temperatursvingingar i varmesystemet.....	49
6.2	Temperaturnivå i varmesystemet.....	53
6.3	Utforming av akkumuleringstank og regulering av spisslast	56
6.3.1	Utforming av akkumuleringstank.....	56
6.3.2	Regulering av spisslast	59
6.4	Analyse av tappevassoppvarminga.....	62
6.5	Analyse av varmeopptakssystemet.....	68
6.6	Overordna analyse av varmpumpeanlegget.....	72
6.6.1	Design og dimensjonering.....	72
6.6.2	COP, energisparing og energidekningsgrad	73
6.6.3	Talet på kompressorstart	75
7	Forslag til forbetringar	76
7.1	Meir instrumentering/måleutstyr	76
7.1.1	Overvaking og regulering av varmpumpa via SD-anlegget.....	76
7.1.2	Logging av volumstraum for dei termiske energimålarane	77
7.1.3	Logging av verknadsgraden til varmegjenvinnaren i ventilasjonsaggregatet	77
7.2	Utforming av akkumuleringstank og regulering av spisslast	77
7.3	Regulering for tappevassoppvarming.....	79
8	Diskusjon.....	81
8.1	Integrert design og bruk av ITB-koordinator	81
8.2	Val av arbeidsmedium	82
8.3	Rehabiliterare eldre bygg eller bygge nytt?	83
9	Konklusjon	87
10	Forslag til vidare arbeid.....	89
10.1	Analyse av driftsresultat etter endringane.....	89
10.2	Analyse av ventilasjonssystem	89
10.3	Plassering av varmeopptakssystemet.....	90
	Referanseliste	91
	Vedlegg	94

Vedlegg 1 Resultat frå passivhusevalueringa.....	94
Vedlegg 2 Detaljerte spesifikasjonar samt røyртеikning for varmepumpa frå installasjonsmanual (Daikin, 2013).....	97
Vedlegg 3 Skjermbilete frå EOS-nettside	101
Vedlegg 4 Skjermbilete frå SD-anlegg	106
Vedlegg 5 Oversikt over temperaturfølarar på romplan	109
Vedlegg 6 Berekna varmeyting og COP per dag	113
Vedlegg 7 Oversikt over funksjonar for RTD-LT/CA (Daikin Europe N.V.).....	117

1 Innleiing

1.1 Bakgrunn

Rehabilitering av eksisterande bygningsmasse utgjør eit stort energisparepotensial i Norge, og kan dermed vere eit effektivt tiltak for å nå klimamålsetningane til EU/regjeringa. Institutt for energiteknikk fann gjennom ei studie at det i 2020 vil vere eit økonomisk energieffektiviseringspotensial på ca. 11-12 TWh/år for rehabilitering av norske bygningar. (Rosenberg, 2013) Energieffektivisering er eit spesielt godt verkemiddel for å nå klimamålsetningane, sidan den mest miljøvenlege energien er den som aldri blir brukt.

Medbroen gardsbarnehage er unik i denne samanhengen, sidan eit over 100 år gammalt gardsbygg er blitt rehabilitert til passivhusstandard. Prosjektet har vist at så omfattande rehabilitering er mogleg, og motivasjonen for å velje passivhusstandard var at eigaren av bygget ville ha eit bygg som møter framtida på ein god måte. (Sørnes, 2014) Tiltak for å minimere energibruken var blant anna å installere energieffektivt ventilasjonsanlegg og jordvarmepumpe.

I 2017 er det totalt installert meir enn 900 000 varmepumper i norske bygningar, noko som gir ein årleg energisparing på omtrent 9 TWh. Dette tilsvarar det totale årlege energiforbruket i Oslo, eller det årlege energiforbruket til 450 000 hushald. (Norsk VVS, 2017) Varmepumper framstår altså som ein sentral teknologi for oppvarming og kjøling av bygningar, og det er viktig å sikre at dei driftast optimalt for å maksimere energisparinga.

Gjennom arbeidet med prosjektoppgåva *Analyse av varmepumpe- og kjølesystem for ZEB/ZEN* vart det avdekket relativt store avvik mellom prosjekterte og målte ytingar for varmeanlegga i dei utvalde bygningane. Det er ikkje uvanleg at bygningar viser seg å ha høgare energibehov enn kva som er prosjektert, og nokon av tiltaka for å redusere energibruken er å utføre ei grundig innregulering av anlegget, samt tett energioppfølging, for å sikre at anlegget fungerer optimalt. Feltnmålingar og analyse av anlegga blir dermed eit viktig steg på vegen. På denne måten kan det kvalitetssikrast at anlegget fungerer som prosjektert og gode løysingar kan vidareførast til framtidige prosjekt, samtidig som ein unngår å gå i dei same fallgruvane.

Resultat frå feltnmålingar kan også brukast for å vurdere energiberekningar på tilsvarande bygningar. Basert på desse feltnmålingane vil ein ofte kunne trekkje generelle slutningar med omsyn på korleis til dømes anleggets varme-/kjøleyting og COP varierer med varierende rammeføresetnadar og kva som er anbefalte driftsføresetnadar. Resultata frå dette prosjektet vil derfor vere overførbare til andre høgeffektive jordvarmepumper i omtrentleg same klimasone.

1.2 Problemstilling

Denne rapporten har fokus på termisk energiforsyning og spesielt varmepumpesystemet på Medbroen gardsbarnehage. Målet med oppgåva er å:

- Skildre bygning og tekniske installasjonar med hovudfokus på anlegget for varmeproduksjon og -distribusjon
- Utføre ein kvalitetssikring av målesystemet
- Samle inn og tilarbeide måleresultat med presentasjon og analyse av blant anna varmepumpeanleggets varmeyting og effektfaktor (COP) ved varierende varmebehov
- Føreslå forbetringar av varmesystemet med spesiell fokus på varmepumpeanlegget.

1.3 Avgrensingar

Følgjande avgrensingar gjeld for denne rapporten:

- Termisk energiforsyning vektleggast mykje meir enn bygningstekniske parametrar. Det er heller ikkje lagt spesiell vekt på tekniske installasjonar utanom varmesystemet.
- Det har vore ein del problem med varmpumpa, som følge av ureinheitar i kollektorsystemet. Varmepumpa fekk derfor svært avgrensa varmeopptak i store delar av fjoråret, samt delvis avgrensa i år, og det er derfor ikkje mogleg å hente ut reelle målingar for eit heilt år. Det er likevel utført ein analyse basert på dei måledataa som er tilgjengelege, men desse er ikkje representative for varmpumpa ved normal drift. Det er derfor vald å ikkje utføre normalårskorrigering for å ta omsyn til årlege variasjonar i klimaet.
- Det var ikkje alltid tilgjengeleg dokumentasjon på arbeid «som utført». Ein del informasjon har derfor blitt gitt munnleg eller via e-post. Det kan ha førekomme feiltolkingar og misforståingar, som har ført til feil i rapporten.
- Det føresetjast at lesaren av rapporten har inngåande kunnskap om grunnleggande VVS-teknikk og varmpumpeteknologi. For å frigjere tid og plass til analysen av varmesystemet er det ikkje prioritert å presentere teoretisk stoff rundt dette. Noko teori er likevel inkludert der det oppfattast som hensiktsmessig.
- Det vil bli fortløpande presentasjon av føresetnadar undervegs i rapporten.
- Dersom ikkje anna er oppgitt er alle figurar i form av fotografi, grafar og liknande eigenproduserte.
- Analysen av anlegget er hovudsakleg basert på data frå 2017. Det kan ha blitt gjort endringar i reguleringsstrategi og liknande under drifta av anlegget tidlegare, som ikkje er dokumenterte i denne rapporten.

Det vart gitt tilgang til måledata både frå SD-anlegg (Sentral driftsovervaking) og EOS (Energioppfølgingssystem). Begge desse plattformene har gode moglegheiter for innhenting av måledata, men det er også nokon avgrensingar:

- Varmepumpa kommuniserer ikkje med resten av SD-anlegget, slik at den ikkje kan fjernovervakast. Informasjon om drifta til varmpumpa er derfor henta ut manuelt ved synfaringar, og det er ikkje historikk på t.d. temperaturnivå, varmeyting, COP og liknande. Varmeyting og COP er derfor berekna basert på energimålarane som er montert i ettertid lenger ute i varmesystemet.
- Temperaturmålingar frå varmesystemet og effektforbruket til spisslasta var først tilgjengeleg frå starten av mars 2017.
- Det er ikkje mogleg å hente ut informasjon om sirkulerte vassmengder i varmesystemet.
- Måledataa i SD-anlegget blir midla over tid, slik at dei kan gje eit misvisande inntrykk når ein ser på historikk lenger tilbake enn siste døgnet. Ved mangel på måledata eller avlese verdi lik null vil det til dømes bli rette linjer til neste målepunkt.

1.4 Metode

Problemstillinga vart løyst ved å først innhente nødvendig informasjon om bygningen og tekniske installasjonar. Tilgang på dette vart oppnådd gjennom korrespondanse med følgjande personar:

- Hjørdis Kindem Thyholt (Eigar/byggherre/driftsansvarleg for bygget, Medbroen Drift AS)
- Jørn Stene (Rådgjevar VVS/vegleiar for masteroppgåva, COWI AS/NTNU)
- Kjell Sveistrup (leverandør av varmpumpe og golvvarmeanlegg, Top VVS AS)
- Hans Olav Svingen, (leverandør av varmpumpe og golvvarmeanlegg, Top VVS AS)
- Anders Hustad (ansvarleg for energioppfølging, Enoco AS)
- Gjermund Hellan (Serviceteknikar, Aircomfort Trøndelag AS)

Det manglar noko skriftleg dokumentasjon, så for å få innsikt i oppbygginga til varmeanlegget og korleis det blir regulert har det vore nødvendig med fleire synfaringar samt hyppig korrespondanse gjennom møter, e-post og telefon med dei ulike aktørane nemnd ovanfor. Utanom dette er det oppsøkt installasjonsmanual for varmpumpa, og datablad for andre komponentar på nett for å tileigne nødvendig informasjon.

Synfaringane har og vore nødvendige for å utarbeide prinsippskissa for anlegget og kvalitetssikre måleutstyret. Dette vart utført i samarbeid med Top VVS og Enoco, samt med vegleing og tips frå vegleiar. Det vart og gjennomført grundige undersøkingar av SD-programvara og EOS-nettsida for å kontrollere at dataa ein fekk ut var fornuftige. Det vart oppdaga ein del feil som er blitt retta opp, og dette vert skildra meir detaljert i kapittel 5.2.

Etter temperaturfølarane vart kopla opp mot SD-programvara i starten av mars, vart det oppdaga hyppige temperatursvingingar i varmesystemet, samt regelmessig innkopling av spisslast. Det vart satt av mykje tid for å undersøke dette nærmare og løyse problemet. Metodane som vart brukt var blant anna:

- Grundige undersøkingar i SD-programvara, med vurdering av historikk for ulike parametarar for å finne samanhengar og når dei ulike hendingane skjer i forhold til kvarandre
- Fagleg diskusjon med Enoco, Top VVS, og vegleiar
- Synfaringar med avlesing av data frå displayet på varmpumpa, samt gjennomgang av innstillingane og installasjonsmanualen for varmpumpa.
- Deltaking på VVS-Foreningen sitt kurs: *Optimalt design av varme- og kjølesystem*. Problemet vart diskutert med kurshaldar og deltakarane der, som gav nokon tips til kva som burde undersøkjast nærmare.

Vidare vart det samla inn måleresultat for perioden 1.1.2017-17.5.2017 for analysen av varmeyting og COP ved varierende varmebehov. For analyse av andre parametarar vart det henta ut måledata for andre periodar ved behov og ut frå kva som var tilgjengeleg. Måleresultata vart fjernavlese frå Enoco si energioppfølgingsside samt via SD-programvara og tilarbeidd i Excel. I tillegg til kunnskapar om varmpumper tileigna gjennom tidlegare fag og prosjektoppgåva, vart det oppsøkt ny litteratur om temaet, for å vere i best mogleg stand til å gjennomføre ei god analyse av anlegget. Konkrete utfordringar ved innsamling og tilarbeiding av måleresultat blir presentert undervegs i rapporten.

Til slutt vart det føreslått forbetringar av varmesystemet, basert på foreløpig analyse av tilgjengelege måledata. Sidan det har vore ein del problem med anlegget vart fokuset i denne rapporten retta mot å luke vekk dei verste feila. Det vil sannsynlegvis framleis vere optimaliseringspotensiale for anlegget etter desse er blitt retta opp, og det må i så fall baserast på nye målingar frå normal drift av anlegget.

2 Norsk regelverk og støtteordningar

2.1 Byggteknisk forskrift

Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) er ansvarleg for Byggteknisk forskrift, som setter grenser for det minimum av eigenskapar eit byggverk må ha for å kunne oppførast lovleg i Norge (Direktoratet for byggkvalitet, 2016a). Energireglane i Byggteknisk forskrift endrar seg stadig ut frå politiske mål og mot meir energieffektive bygningar. Tiltak omfattar blant anna mindre varmetap gjennom bygningskroppen, større lufttettheit, lågare SFP (spesifikk vifteeffekt) og meir effektiv varmegjenvinning for ventilasjonsluft.

I kapittel for energi, § 14-4, stillast det og krav til løysingar for energiforsyning. Etter gjeldande forskrift, TEK 10, revidert 1.1.2016, er det ikkje tillate å installere varmeinstallasjon for fossilt brensel. Det er og krav om at bygningar med over 1000 m² oppvarma bruksareal skal ha energifleksibile varmesystem med tilrettelegging for bruk av lågtemperatur varmeløysingar, noko som i praksis ofte vil vere vassboren varme, men kan og vere luft. I rettleiinga står det vidare at minimum 60 % av normert netto varmebehov må dekkast av energifleksibile system, og at turtemperaturen til lågtemperatur varmesystem må vere 60 °C eller lågare ved dimensjonerande forhold. (Direktoratet for byggkvalitet, 2016b) Dette er fordelaktig for bruk av varmpumper, i motsetning til eksempelvis fjernvarme, som er basert på høgtemperatur varmesystem.

Året 2016 var eit overgangsår, der det var mogleg å velje mellom «gamle» TEK 10, og den reviderte utgåva frå 1.1.2016. Frå 1.1.2017 vart den nye utgåva gjeldande. I den eldre utgåva var det ein eigen paragraf om energiforsyning, § 14-7, der det stod følgjande:

1. Det er ikkje tillate å installere oljekjel for fossilt brensel til grunnlast.
2. Bygning over 500 m² oppvarmet BRA skal prosjekteres og utføres slik at minimum 60 % av netto varmebehov kan dekkas med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker.
3. Bygning inntil 500 m² oppvarmet BRA skal prosjekteres og utføres slik at minimum 40 % av netto varmebehov kan dekkas med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker.
4. Kravet til energiforsyning etter annet og tredje ledd gjelder ikke dersom det dokumenteres at naturforhold gjør det praktisk umulig å tilfredsstille kravet. For boligbygning gjelder kravet til energiforsyning heller ikke dersom netto varmebehov beregnes til mindre enn 15 000 kWh/år eller kravet fører til merkostnader over boligbygningens livsløp.
5. Boligbygning som etter fjerde ledd er unntatt fra krav om energiforsyning skal ha skorstein og lukket ildsted for bruk av biobrensel. Dette gjelder likevel ikke boenhet under 50 m² oppvarmet BRA eller bolig som tilfredsstiller passivhusnivå. (Direktoratet for byggkvalitet, 2011)

Denne paragrafen vart fjerna frå den reviderte utgåva, og det er i den nye forskrifta opna for at bygningar under 1000 m² oppvarma BRA kan ha heilelektrisk oppvarming. Dette har vore veldig omdiskutert, og mange meiner at dei nye krava til føre til at utviklinga av miljøteknologi for å nå måla om nullenergihus vil stoppe opp (Havellen, 2016).

2.2 Passivhusstandard

Passivhus er eit omgrep frå Tyskland, som med strenge krav til prosjektering og utføring skal føre til miljøvenlege bygningar med svært høg kvalitet, godt inneklima og ekstremt lågt energibehov (Standard Norge, 2012). Namnet kjem av at bygget skal ta i bruk passive tiltak, som til dømes varme frå sola. Det stillast strenge krav til energieffektivitet, blant anna gjennom superisolerte veggjar, tak og golv, vindauge med låg U-verdi, og diverse tiltak for å unngå kuldebruer og oppnå ein lufttett konstruksjon (Stene, 2016c). Behovet for tilpassing til norsk klima førte til utvikling av to norske standardar:

- *NS 3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger*
- *NS 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Yrkesbygninger*

For Medbroen gardsbarnehage er det den sistnemnde for yrkesbygningar som er aktuell. Standarden gir kriterium for oppfyljing av både passivhus og lågenergibygningar, der passivhus er mest krevjande. Energibehovsberekingar skal på same måte som for byggtknisk forskrift (TEK 10) utførast etter *NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data*. Det kan likevel vere avvik ved at ein tar omsyn til lokalt klima ved design, samt størrelsen for oppvarma bruksareal (BRA). Det er og krav om at passivhus og lågenergibygningar skal oppfylle krava til energiforsyning i byggtknisk forskrift.

2.3 Energimerking

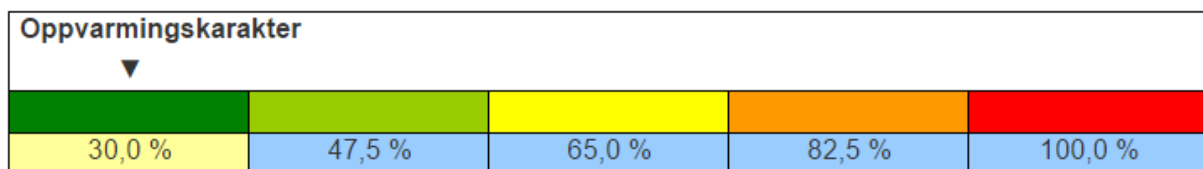
Etter 1. juli 2010 vart det obligatorisk at alle bustadar og yrkesbygg som seljast eller leigast ut skulle ha ein energiattest. Bygningens energistandard framkjem av ein energikarakter og ein oppvarmingskarakter, som er uavhengige av kvarandre. Dette skal føre til auka medvit om energibruk, ulike oppvarmingsløysingar og løysingar som kan gjere bygningen meir energieffektiv. Energiattesten kan lagast av bustadeigarar for eksisterande bustadar, medan for yrkesbygg og nye bustadar skal energiattesten lagast av ein ekspert. (Energimerking, 2009b)

Energikarakteren er basert på berekna levert energi og går frå A til G. Dette blir berekna etter NS 3031 for bygningen under normal bruk. Tabell 1 gir ei oversikt over berekna levert energi per kvadratmeter og energikarakter for dei ulike bygningskategoriane. Skalaen er utarbeidd slik at bygningar som berre oppfyller minimumskrava i TEK 10 vil oppnå karakteren C, medan bygningar som brukar varmpumpe eller solenergi til oppvarming, samt har betre isolasjon enn krava i byggeforskriftene vil oppnå høgare energikarakterar. (Energimerking, 2009a)

Tabell 1 Energikarakterskalaen for ulike bygningskategoriar, oppdatert 10.06.2015. (Energimerking, 2009a)

Bygningskategoriar	Levert energi pr m ² oppvarma BRA (kWh/m ²)						
	A	B	C	D	E	F	G
	Lågare enn eller lik	Lågare enn eller lik	Lågare enn eller lik	Lågare enn eller lik	Lågare enn eller lik	Lågare enn eller lik	Ingen grense
Småhus	95	120	145	175	205	250	>F
Arealkorreksjon	+800/A	+1600/A	+2500/A	+4100/A	+5800/A	+8000/A	
Leilegheiter (bustadblokk)	85	95	110	135	160	200	>F
Arealkorreksjon	+600/A	+1000/A	+1500/A	+2200/A	+3000/A	+4000/A	
Barnehage	85,00	115,00	145,00	180,00	220,00	275,00	> F
Kontorbygning	90,00	115,00	145,00	180,00	220,00	275,00	> F
Skulebygning	75,00	105,00	135,00	175,00	220,00	280,00	> F
Universitets- og høgskulebygning	90,00	125,00	160,00	200,00	240,00	300,00	> F
Sjukehus	175,00	240,00	305,00	360,00	415,00	505,00	> F
Sjukeheim	145,00	195,00	240,00	295,00	355,00	440,00	> F
Hotellbygning	140,00	190,00	240,00	290,00	340,00	415,00	> F
Idrettsbygning	125,00	165,00	205,00	275,00	345,00	440,00	> F
Forretningsbygning	115,00	160,00	210,00	255,00	300,00	375,00	> F
Kulturbygning	95,00	135,00	175,00	215,00	255,00	320,00	> F
Lett industribygning, verkstad	105,00	145,00	185,00	250,00	315,00	405,00	> F

Oppvarmingskarakteren er basert på ein femdelte fargerangering frå raudt til grønt, og rangerar bygningen ut frå kva oppvarmingssystem som er installert. Bruk av berre direkteverkande elektrisitet eller fossile brensler vil gje raud oppvarmingskarakter, medan bygningar med system som kan bruke fornybar energi vil få betre karakterar, der mørkegrøn er best. For å oppnå den beste oppvarmingskarakteren må delen elektrisitet og fossilt brensel i bygget dermed vere under 30 %, som vist i Figur 1.



Figur 1 Femdelte rangering for oppvarmingskarakter, der delen fossile brensler eller direkteverkande elektrisitet må ligge under dei oppgitte verdiane for å oppnå fargegraderingane. (Energimerking, 2009a)

2.4 Enova SF

Enova SF vart oppretta av Olje- og energidepartementet i 2001. Gjennom økonomisk støtte og rådgjeving skal Enova bidra til ein miljøvenleg omlegging av energibruk og energiproduksjon, samt bidra til utvikling av energi- og klimateknologi. Verksemda skal styrke

forsyningssikkerheita og redusere klimagassutslepp ved å skape varige endringar i tilbod og etterspurnad etter effektive og fornybare energi- og klimaløysingar. Dei konkrete målsetningane til Enova blir bestemt av myndigheitene, og finansieringa kjem blant anna av tildeling av midlar frå Energifondet. (Enova, 2014)

Enova innførte støtteprogrammet til passivhus i 2010, på ei tid der det nesten ikkje vart bygd passivhus. Etter stor suksess der det vart støtta meir enn 400 passivhus- og lågenergibbyggprosjekt, samt det vart dokumentert at det er mogleg å bygge på passivhusnivå innan dei ulike bygningskategoriane, vart denne støtta fjerna for nybygg i slutten av 2013. Enova si rolle er å utløyse energi- og klimaprojekt som elles ikkje hadde blitt realisert, og sidan situasjonen vart vurdert til at passivhusbygginga ville fortsette utan støtte frå Enova, valde dei å nytte midlane på andre tiltak. Det er framleis mogleg å søke støtte til omfattande rehabilitering til passivhusnivå, og Enova varsla at dei vil bruke meir av midlane på energieffektivisering av den eksisterande bygningsmassen dei kommande åra. (Lie, 2013)

3 Beskriving av bygning og energibehov

3.1 Medbroen gardsbarnehage

Medbroen gardsbarnehage har eit oppvarma bruksareal (BRA) på 833 m² og er lokalisert på Stjørdal, 35 km aust for Trondheim. Driftsbygningen vart oppført i 1908 og har hatt fleire ulike eigarar og bruksformål sidan den tid. Dagens eigar, Hjørdis Kindem Thyholt tok over i 1988, og starta opp eit ridesenter i 1989. I 2011 etablerte ho ein gardsbarnehage for 55 born i alderen 1-6 år. I dag er bygget rehabilitert til passivhusstandard, og har i tillegg til barnehagen moderne kontorlokale og ein husdyrfløy, der det er hestar, høner, kaninar og grisar. Garden har i tillegg 250 daa dyrka jord som nyttast til kornproduksjon, samt verkstad, drivhus og naust. (Thyholt, 2011)

Arbeidet med rehabilitering til passivhusstandard starta i oktober 2013, og var ferdigstilt i juli 2015. Eksisterande berekonstruksjonar og bindingsverk vart beholdt så langt som mogleg både av kostnadsmessige- og bevaringsverdige årsakar. Bygget er både eigd og drive av Hjørdis Kindem Thyholt i Medbroen Drift AS. Mor hennar, Kari Kindem Thyholt er pensjonert arkitekt og teikna bygget då det skulle rehabiliterast, medan systera hennar, Marit Kindem Thyholt var spesialrådgjevar for energi. Figur 2 viser korleis bygget såg ut før og etter rehabiliteringa.



Figur 2 Medbroen gardsbarnehage før og etter rehabilitering. (Thyholt, 2015a)

Total byggekostnad var om lag 16 MNOK, derav meirkostnaden for oppgradering til passivhusstandard i staden for TEK 10 utgjorde ca. 1,3 MNOK, tilsvarande 9 % av totalkostnaden. (Thyholt, 2015a) Enova bidrog med totalt 583 000 kr til prosjektet, noko som utgjorde omtrent 45 % av tilleggsinvesteringa for å oppnå passivhusstandard (Aune, 2014).

3.2 Rehabilitering til passivhusstandard

Å rehabiliterer eit over 100 år gammalt bygg til passivhusstandard samtidig som det skal bevarast eksisterande berekonstruksjonar og bindingsverk er ikkje nokon enkel oppgåve. Spesielt utfordrande vart det å sørge for at bygget oppnådde kravet til lufttettheit. Tabell 2 gir ei oversikt over krav i passivhusstandard og oppnådde verdiar for bygget.

Tabell 2 Krav i NS 3701 og oppnådde verdier for bygningen. (Standard Norge, 2012, Thyholt, 2015b)

Type krav (snittverdier for heile bygget)	Krav i NS 3701	Oppnådd verdi
Netto oppvarmingsbehov [kWh/(m ² ·år)]	31.4	25.5
Netto kjølingsbehov [kWh/(m ² ·år)]	3,3	0.0
Varmetapstal [W/(m ² ·K)]	0.42	0.35
Del av varmebehovet som dekkjast av anna enn direkte el. og fossile brensel [%]	60	80
U-verdi, vindauger/dører [W/(m ² ·K)]	0.80	0.84
U-verdi, ytterveggar [W/(m ² ·K)]	0,22	0,17
U-verdi, tak [W/(m ² ·K)]	0,18	0,10
U-verdi, golv mot grunn og mot det fri [W/(m ² ·K)]	0,18	0,12
Normalisert kuldebruverdi [W/(m ² ·K)]	0.03	0.02
Lekkasjetal ved 50 Pa, n50 [h ⁻¹]	0.60	0.60
Årsverknadsgrad varmegjenvinnar [%]	80	84,5
SFP-faktor [kW/(m ³ /s)]	1.50	1.50
Energibehov til belysning/LENI [kWh/(m ² ·år)]*	13	11.9

*LENI, Lighting energy numerical indicator, dokumentert etter NS-EN 15193.

I tillegg til tabellverdiane over, skal minst 60 % av installert effekt til belysning vere underlagt styringssystem (dynamisk dagslys- og konstantlysbelysning). Det skal i tillegg vere minst ei styringssone per rom, eller per 30 m² i større rom (dynamisk behovsstyring ved nærvære). NS 3701 stiller ikkje krav til årleg netto energibehov eller årleg behov for levert energi.

Både krava til varmetapstal, oppvarmingsbehov og kjølebehov er oppfylt og dokumentert, men alle «Minstekrav til bygningsdelar, komponentar og lekkasjetal» er ikkje oppfylt. Gjennomsnittleg U-verdi for vindauger er berekna til 0,84 W/(m²·K), eksklusive varmemotstand frå overdekka glasgate og eitt lag eksisterande glas for vindauga som vender mot slike konstruksjonar. Ved å inkludere varmemotstanden frå overdekka glasgate og det ekstra glaset i eksisterande vindauger vil det bli ein lågare U-verdi, men dette er ikkje rekna på. Bygget har likevel fått godkjent status som passivhus.

3.3 Berekna energibehov

Energiberekningane for bygget vart utført med simuleringsprogrammet SIMIEN versjon 5.503, som nyttar dynamisk berekningsmetode i høve til reglane i både *NS 3701 Kriterier for passivhus og lavenergibygnings – Yrkesbygningar* og *NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data*. Sistnemnde standard er tilbaketrekt no og erstatta med NS 3031:2014, men det var den førre som var gjeldande då berekningane vart utført. Fullstendige resultat frå passivhusevalueringa er presentert i Vedlegg 1, medan energibudsjet og levert energi til bygget er presentert i Tabell 3 og Tabell 4.

Tabell 3 Energibudsjett for Medbroen gardsbarnehage, berekna i SIMIEN. (Thyholt, 2015b)

Energibudsjett (NS 3701)		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	16112 kWh	19,3 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	5149 kWh	6,2 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	8347 kWh	10,0 kWh/m ²
3a Vifter	6613 kWh	7,9 kWh/m ²
3b Pumper	995 kWh	1,2 kWh/m ²
4 Belysning	9567 kWh	11,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4348 kWh	5,2 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	51131 kWh	61,4 kWh/m ²

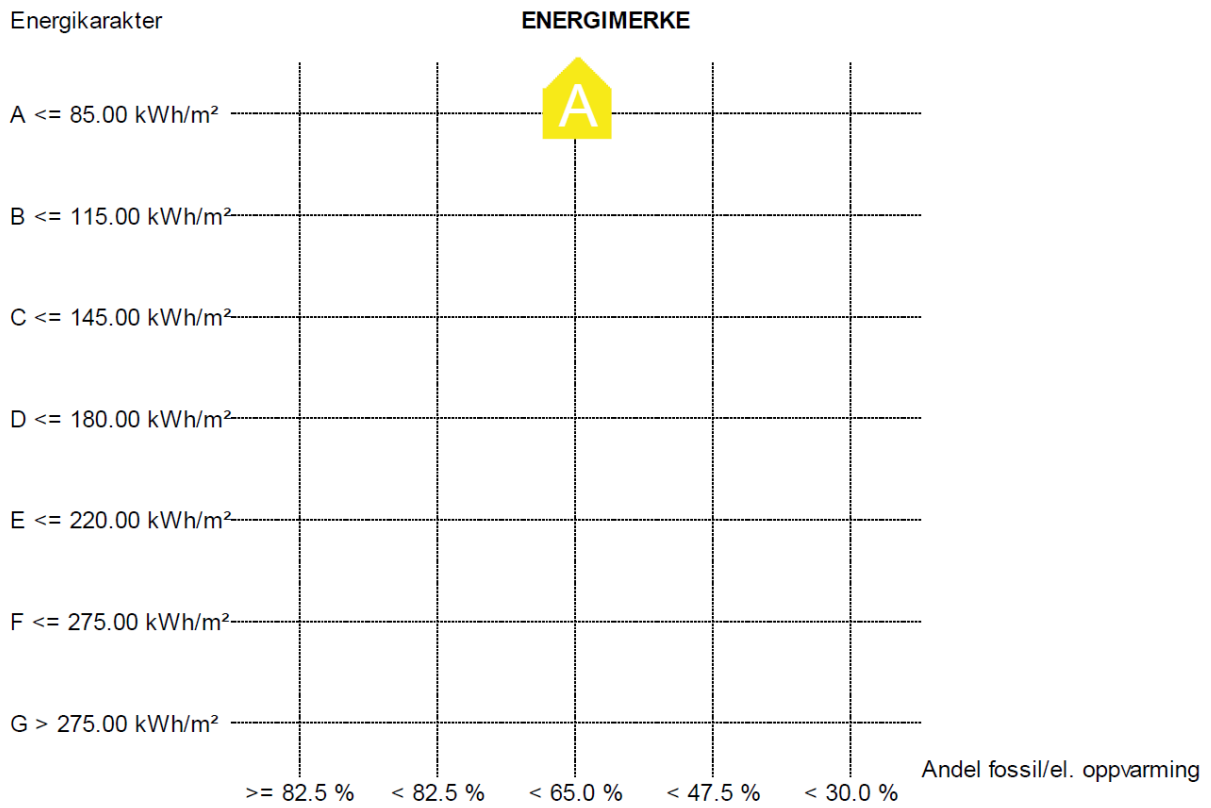
Tabell 4 Levert energi til Medbroen gardsbarnehage, berekna i SIMIEN. (Thyholt, 2015b)

Levert energi til bygningen (NS 3701)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	28341 kWh	34,0 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	8870 kWh	10,6 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	37211 kWh	44,7 kWh/m ²

Oppvarmings- og kjølebehovet er berekna ut frå lokalt klima, og er basert på målestasjonen på Værnes, som ligg like ved garden. I berekningane vart det brukt ei verknadsgrad på 82 % for varmegjenvinnaren i staden for 84,5 % som er dokumentert frå leverandør av ventilasjonsaggregatet. Andre føresetningar for simuleringa kan finnast i tabellane med tittel «Dokumentasjon for sentrale inndata» i Vedlegg 1.

Før rehabilitering hadde bygget eit berekna spesifikt netto energibehov på 276 kWh/(m²·år) basert på referansen «Eldre barnehagebygg», medan det etter rehabilitering skal vere 61,4 kWh/(m²·år). Dette tilsvarar ein reduksjon på over ¾ av energibehovet. (Thyholt, 2015a) Oppvarmingsbehovet inkl. varmt tappevatn er berekna til 35,5 kWh/(m²·år), og utgjer dermed 58 % av det totale energibehovet til bygget.

Prosjektet oppnår energikarakter A og gul oppvarmingskarakter, som illustrert i Figur 3. Kravet for desse karakterane er berekna levert energi lågare enn 85 kWh/(m²·år) og del el/olje/gass mellom 47,5 og 65,0 % av netto oppvarmingsbehov. Bygningen har berekna levert energi 44,7 kWh/(m²·år) og del el/olje/gass 49,8 % av netto oppvarmingsbehov. Oppvarmingskarakteren er funne basert på at varmepumpa har 80 % energidekningsgrad. Dersom denne hadde vore satt til 90 %, noko som er meir vanleg, ville del el/olje/gass vore 43 % og prosjektet ville dermed oppnådd lys grøn oppvarmingskarakter.



Figur 3 Energimerket til Medbroen gardsbarnehage. (Thyholt, 2015b)

4 Varmesystemet

4.1 Oversikt over varmesystemet

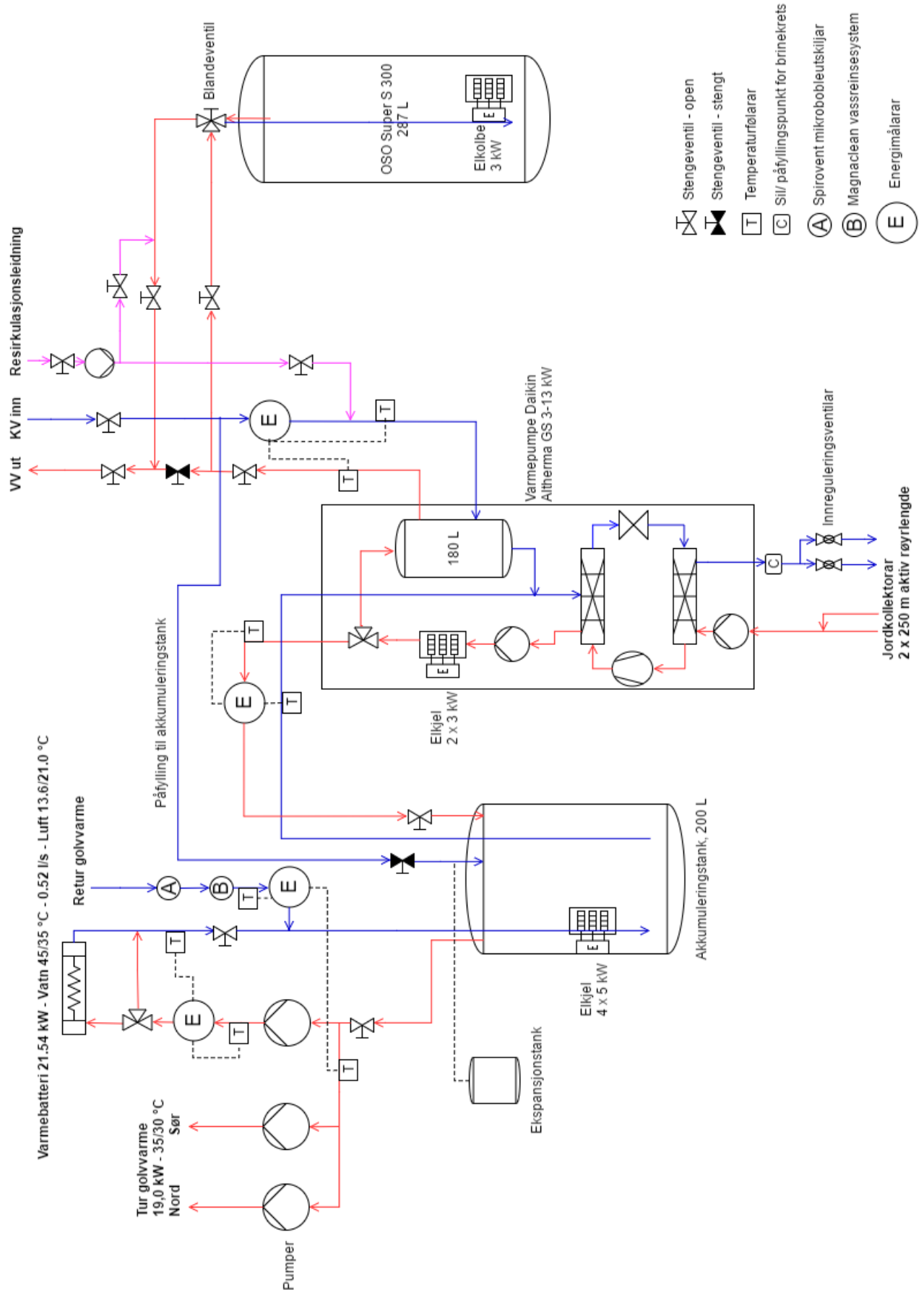
Varmesystemet består av følgende hovudkomponentar:

- Varmepumpe: Daikin Altherma GS 3-13 kW, inkl. tappevasstank (180 L), elektriske varmelement (2 x 3 kW) sirkulasjonspumper og vekselventil for prioritert tappevassoppvarming.
- Jordkollektorsystem som varmekjelde, med 500 m aktiv røylengde fordelt på to kursar.
- Akkumuleringstank (200 L) som buffer for romoppvarming med integrert elkjel som spisslast med 4 x 5 kW elektriske varmelement.
- Ekstern varmtvassberedar: OSO Super S 300 (287 L) med 3 kW elektrisk effekt.
- Golvvarmeanlegg med dimensjonerande effektbehov og temperaturnivå høvesvis 19 kW og 35/30 °C.
- Ventilasjonsaggregat med roterande varmegjenvinnar og vassvarmebatteri med dimensjonerande effektbehov og temperaturnivå høvesvis 21,54 kW og 45/35 °C.

Varmesystemet består av ei jordvarmepumpe og elektrisk spisslast som leverer varme til golvvarmeanlegg, varmevekslar i ventilasjonsanlegg og varmt tappevatn. Dei ulike delane av varmeanlegget er skildra i detalj i dei kommande kapitla. Vidare består varmesystemet av følgende mindre komponentar:

- To sirkulasjonspumper til golvvarmeanlegget og ei til varmebatteriet. Disse er av typen Wilo-Stratos Para 25/1-8 T3 og er turtalsregulerte i forhold til trykkdifferanse.
- Resirkulasjonsleidning med sirkulasjonspumpe Grundfos UP15-14 BA PM.
- Vassreinsesystem av typen ADEY MagnaClean Professional 2XP, som filtrerer og fjernar magnetitt og andre ureinheiter.
- Spirovent Air mikrobobleutskiljar som fjernar luft og mikrobobler.
- Ekspansjonstank av typen Zilmet kopla i toppen av akkumuleringstanken.
- Innreguleringsventilar og sil i jordkollektorsystemet.
- Trevegsventil i forkant av varmebatteriet i ventilasjonsanlegget.
- Fire energimålarar av typen Kamstrup Multical 602.
- Stengeventilar av typen ISIS.

Figur 4 viser ei prinsippskisse av varmesystemet.



Figur 4 Prinsippsskisse av varmesystemet.

Varmepumpa som er dimensjonert som grunnlast i varmesystemet, har ein nominell varmeyting på 13,0 kW (brinetemp. 0/-3 °C og utgåande vass temp. 35 °C) og det vart antatt ein energidekningsgrad på 80 % i passivhusevalueringa. Som spisslast er det kopla inn 4 x 5 kW elektriske element (dvs. totalt 20 kW) i akkumuleringstanken etter varmepumpa. Varmepumpa har i tillegg to elektriske element på 3 kW, som blir kopla inn 15-20 min etter at det har oppstått behov eller dersom den ikkje klarar temperaturløftet til riktig temperatur. Om det skulle skje ein feil slik at varmepumpa blir slått av, vil den i nøddrift kunne levere 9 kW elektrisk effekt. Varmepumpa kan ikkje drivast som kjølemaskin, men med nokon modifikasjonar vil det vere mogleg å nytte frikjøling frå jordvarmekretsen, dersom det skulle oppstå kjølebehov i bygget i framtida.

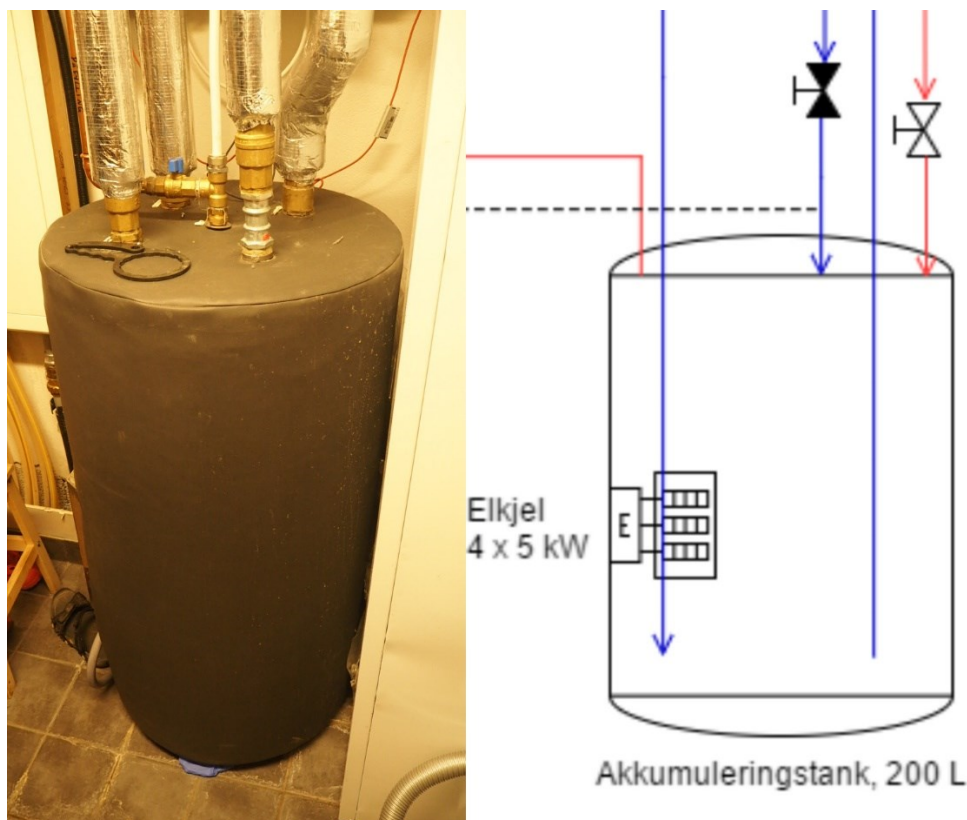
Varmepumpa har ein vekselventil som vekslar mellom romoppvarming- og tappevassmodus. I romoppvarmingsmodus leverer varmepumpa varmt vatn til golvvarmeanlegget og varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet via ein akkumuleringstank. Figur 5 viser eit bilete frå teknisk rom som inkluderer akkumuleringstanken, varmepumpa og diverse røyrkoplingar. I tappevassmodus forvarmar den varmt tappevatn til 50 °C, som deretter blir ettervarma til 70 °C i ein ekstern varmtvassberedar.



Figur 5 Bilete frå teknisk rom. Akkumuleringstank nedst til venstre, varmepumpa til høgre og to kursar til jordvarmeanlegget bak varmepumpa.

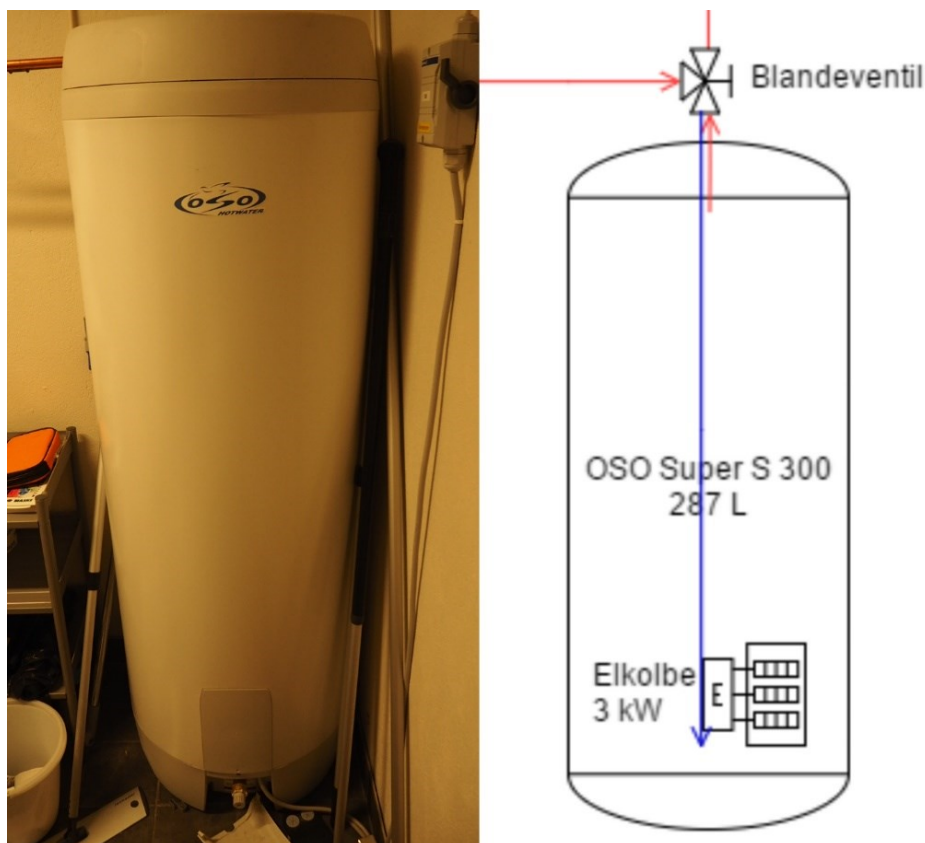
Det er tre akkumuleringstankar i varmesystemet; ein intern tappevasstank (180 L) i varmpumpa, ein spesiell akkumuleringstank frå Lauguna (200 L) som buffer for golvvarmeanlegget og varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet og ein ekstern varmtvassberedar (287 L). Ved å nytte akkumuleringstankar vil det ikkje bli så hyppig start/stopp-frekvens for varmpumpa ved låge varmebehov, samtidig som det blir ein buffer for varmesystemet ved høge effektbehov sidan ein kan lagre energi. Dette blir spesielt viktig for dette anlegget sidan varmpumpa ikkje kan levere energi til romoppvarming og varmt tappevatn samtidig pga. vekselventilløysinga.

Turrøyrret frå varmpumpa går til toppen av akkumuleringstanken, medan returrøyrret går frå botn av tanken, som vist i Figur 6. Tilsvarende er det for tur/retur til golvvarmeanlegget og varmebatteriet, som seinare deler seg i separate røyrføringar. Dei elektriske elementa er montert i nedre del av tanken. Ved montasje av varmpumpa var det ikkje mogleg å kople inn spisslast som ekstern varmekjelde. Elkjelen slår derfor inn i parallell med trinn 2 for elkjelen i varmpumpa. Dette er ei svært uheldig regulering av spisslasta, noko som vil bli ytterlegare forklart i kapittel 6.3.



Figur 6 Bilete av akkumuleringstanken til venstre og utsnitt frå prinsippskissa til høgre.

Den eksterne varmtvassberedaren, vist på Figur 7, er kople slik at «kaldt vatn inn» er det forvarma tappevatnet frå varmpumpa. På toppen av tanken er det ein blandeventil, som består av to røyr, eit ytre og eit indre røyr som går ned i tanken. Det kalde vatnet strøymar ned det indre røyrret til botn av tanken, der det blir varma av ein elkolbe med 3 kW elektrisk effekt til 70 °C. Ytterrøyrret går berre ned til toppen av tanken der vatnet er varmest. Når det kalde vatnet strøymar inn i tanken i innerøyrret pressast tilsvarende mengde varmt vatn ut gjennom ytterrøyrret. Ventilen blandar dette varme vatnet med inngåande kaldt vatn slik at ein får ønska temperatur ut på anlegget. Varmetapet frå tanken er ifølgje spesifikasjonane 2,3 kWh / døgn.



Figur 7 Bilete av den eksterne varmtvassberedaren (OSO Super S 300) til venstre og utsnitt frå prinsippskissa til høgre.

4.2 Varmepumpa

Varmepumpa er av typen Daikin Altherma GS (varenummer EGSQH10S18A9W) og nyttar arbeidsmediet R410A. Varmepumpa har eit kompakt design (1732x600x728 mm³), og har følgjande komponentar innebygd:

- Fordampar og kondensator: Lodda platevarmevekslarar
- Kompressor: Daikin Swing Inverter (hermetisk lukka)
- Elektronisk ekspansjonsventil
- Vekselveil for prioritert tappevassoppvarming
- Elektrisk varmeelement, 2 x 3 kW
- Tappevasstank på 180 L med varmevekslar
- To ekspansjonstankar og diverse ventilar
- Sikkerheitsutstyr: Høgtrykkspressostat og termisk sikringsautomat
- To sirkulasjonspumper; ei til kollektorkrets (Grundfos UPMXL) og ei i forkant av trevegsventilen (Wilo), slik at sistnemnde sirkulerer vatn både til romoppvarming og tappevasstanken. Vasspumpa er turtalsregulert, medan pumpa til kollektorkretsen har tre hastigheitstrinn.
- Diverse måleinstrument
- Beteningspanel (Daikin, 2013)

Varmepumpa har vidare spesifikasjonane oppgitt i Tabell 5. For meir detaljerte spesifikasjonar, samt røyrtekning for varmpumpa, sjå Vedlegg 2.

Tabell 5 Spesifikasjonar for varmpumpeaggregatet. (Daikin, 2014, Daikin Europe N.V., 2015)

Varmekapasitet	Minimum	3,11 kW (1) / 2,47 kW (2)
	Nominell	10,20 kW (1) / 9,29 kW (2)
	Maksimum	13,00 kW (1) / 11,90 kW (2)
Tilført effekt	Nominell	2,34 kW (1) / 2,82 kW (2)
COP		4,35 (1) / 3,29 (2)
Dimensjonar	Høgde / breidde / lengde	1732 / 600 / 728 mm ³
Vekt		210 kg
Tank	Vassvolum	180 L
	Varmetap	1,4 kWh/døgn
Driftsområde	Romoppvarming (min.-maks.)	24-60 °C (vp.) 24-65 °C (vp.+ el.)
	Tappevassoppvarming (min.-maks.)	25-55 °C (vp.) 25-60 °C (vp. +el.)
Arbeidsmedium	Type	R410A
	Fylling	1,8 kg
	Regulering	Elektronisk strupeventil
	GWP	2087,5
Oppvarming av tappevatn	Effektivitet	93,1 %
	Energiklasse	A
Romoppvarming	Vassutløp 55 °C	Årsvarmefaktor: 144 %
		SCOP: 3,79
	Vassutløp 35 °C	Energiklasse: A++
		Årsvarmefaktor: 202 % SCOP: 5,26 Energiklasse: A++

(1) 0 /35 °C (2) 0/45 °C

Dei oppgitte varmeytingane til varmpumpa gjeld ved brinetemperatur 0/-3 °C og tur/returtemperatur for vatnet til romoppvarming på 35/30 °C eller 45/40 °C. For dette anlegget er det både eit golvvarmeanlegg med dimensjonerande temperaturnivå 35/30 °C og eit varmebatteri i ventilasjonsaggregatet med dimensjonerande temperaturnivå 45/35 °C. Dei oppgitte forholda er dermed ikkje heilt representative for dette anlegget, men sistnemnde vil ligge nærmast og er derfor tatt som utgangspunkt i denne rapporten. Då vil altså varmpumpa kunne yte frå 2,47-11,90 kW, oppnå COP på 3,29 og SCOP på 3,79.

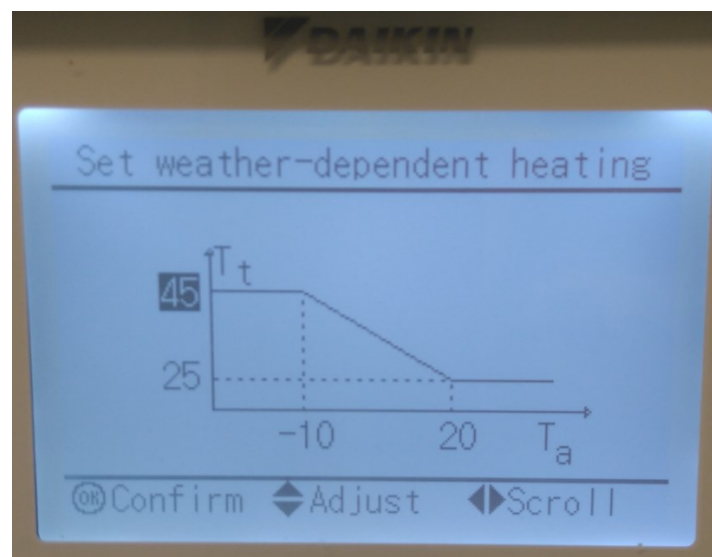
Kompressoren er av typen Daikin Swing Inverter, ein turtalsregulert kompressor som regulerer trinulaust. Denne kompressortypen har færre rørlige delar som gir mindre fare for slitasje og lågare lydnivå samt mindre vibrasjon enn standardkompressorar. Det er i tillegg «mjukstart» på kompressoren, som inneberer at den ikkje startar i fullt pådrag, men heller startar på ein låg frekvens og aukar turtalet gradvis etter behov. (Svingen, 2017) Inverterteknologien gjer at årsvarmefaktoren (SCOP) aukar med opp til 20 %, samanlikna med konvensjonelle varmpumper med intermittert regulering av kompressoren (på/av). Dette kjem av at frostvæska i kollektorsystemet blir haldt på ein høgare og meir stabil temperatur, spisslastbruken blir redusert til eit minimum og ved at kompressoren er svært effektiv under drift i dellast. (Daikin, 2015) Varmepumpa kom i tillegg ut som ein av dei beste modellane i

svenske Energimyndigheten sin test av bergvarmepumper i 2014. (Energimyndigheten, 2014)
Figur 8 viser eit bilete av varmepumpa.



Figur 8 Varmepumpa Daikin Altherma GS. (Daikin, 2014)

Temperaturnivået varmepumpa leverer til akkumuleringstanken er basert på at temperaturnivåa for golvvarmeanlegget og varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet skal vere høvesvis 35/30 °C og 45/35 °C ved dimensjonerande forhold, der sistnemnde blir temperaturledande kurs. Varmepumpa blir regulert av ein utetemperatur-kompenseringskurve, som illustrert på Figur 9. Ved utetemperaturar lågare enn og opp til -10 °C har varmepumpa ein utgåande vass temperatur på 45 °C, medan turtemperaturen blir redusert lineært ned mot 25 °C ved 20 °C utetemperatur. I tillegg regulerer den massestraumen og trykket ut frå at det skal vere ein temperaturforskjell på 6 °C mellom tur- og returtemperatur frå varmepumpa til akkumuleringstanken. Vasspumpa driftast kontinuerleg med turtalsregulering.



Figur 9 Bilete av utetemperatur-kompenseringskurven frå displayet til varmepumpa.

Som nemnd tidlegare går varmepumpa enten i romoppvarming- eller tappevassmodus. Den går i romoppvarmingsmodus mesteparten av tida då det behovet er dominerande, og det er tre forskjellige moglegheiter for drifta i tappevassmodus:

- Reheat: Berre ettervarming er tillatt.
- Scheduled: Varmtvasstanken kan berre bli varma opp i høve til ein timeplan.
- Scheduled + Reheat: Varmtvasstanken blir varma opp i høve til ein timeplan og mellom desse oppvarmingssyklusane er det tillatt med ettervarming.

Varmepumpa har i all hovudsak brukt Reheat-modusen, men Scheduled vart utprøvd under arbeidet med masteroppgåva. Dette blir utdjupa i kapittel 6.4. I Reheat-modus vil varmepumpa slå over til tappevassmodus omtrent kvar tredje time, for å ettervarme tanken til ein gitt temperatur (50 °C). Ein gong i veka køyrer varmepumpa i tillegg legionellasikring, som inneberer at varmepumpa aukar tanktemperaturen til 60 °C, og skal oppretthalde denne temperaturen i ein time. Dette skjer fredag kveld frå kl. 23:00. For å oppnå denne tanktemperaturen blir tappevatnet først forvarma av varmepumpa så høgt den greier (55 °C), og deretter slår elkjelen i varmepumpa inn for å dekke det resterande temperaturløftet. Dersom tanktemperaturen fell under 55 °C startar perioden på nytt igjen. (Daikin, 2013)

4.3 Varmeopptakssystem - jordvarme

Varmepumpa hentar varme ved hjelp av jordkollektorar, som ligg delvis i jord og delvis i elvekanten, som vist på Figur 10. Langs elvekanten blir vasstanden delvis påverka av sjøen, slik at det førekjem flo og fjære. Ved flo vil vatnet ligge over jordkollektorane, og dermed bidra til at temperaturen vil ligge over 0 °C heile året. (Thyholt, 2015a)



Figur 10 Plassering av kollektorørøyra til varmeopptakssystemet. (Thyholt, 2014)

Det er nytta ein indirekte systemløyning, altså eit lukka røyrsystem der ei frostvæske sirkulerast mellom fordamparen og varmekjelda. Det ligg to kursar med lengde 600 m, derav 100 m ligg under gardsplassen og derfor er isolerte for å unngå setningsskader når det fryser is på røyra. Ved å bruke to kursar på 300 m kvar i staden for ein kurs på 600 m, vil ein og redusere trykktap i røyrføringane. Det er altså 500 m aktiv lengde på kollektorane og i varmeopptaksområdet skal røyra ha ein innbyrdes avstand på minimum 1,5-2 m og vere grave ned på ca. 1,2-1,5 m djupne. Utgrave masse skal pakkast godt rundt kollektorslangane for å sikre best mogleg varmeoverføring. (Stene, 2014a)

Det er nytta turbulenskollektorar i plast (Ø40, PN6,3, PE100, SDR17) og HX35 som frostvæske, dvs. vatn innblanda 35 % etanol. Vidare består varmeopptakssystemet av filter, ekspansjonstank, sikkerheitsventil, trykkmålar og sirkulasjonspumpe integrert i varmpumpa, medan innreguleringsventilar, sil og påfyllingspunkt er montert utanom varmpumpa. Anleggstrykket under drift skal vere minimum 1,5 bar, for å hindre at det kjem luft inn i systemet, då dette medverkar til korrosjon samt nedbryting av frostvæska.

Sirkulasjonspumpa har tre ulike hastighetstrinn og er forrigla mot varmpumpa, slik at oppstart i forhold til kompressorstart er avhengig av faktorar som varmebehov, temperaturnivå i brinekretsen, osv. Ved oppstart av anlegget etter stans vil pumpa dermed starte før kompressoren, for å sikre maksimal varmeoverføring i kollektorslangen og unngå lågt sugetrykk for kompressoren i oppstartsaugeblikken. Samla sirkulert mengde frostvæske til og frå fordamparen til varmpumpa skal vere ca. 1,0-1,2 liter/sekund (prosjektert verdi). Når varmpumpa går på full kapasitet skal frostvæska avkjølast ca. 2-3 °C over fordamparen dersom sirkulert mengde er korrekt. (Stene, 2014a)

Kollektorane er plassert langs elva og på vinterstid dannast det spesielt mykje is i dette området som følge av varmeuttak frå omgivnadane, som vist på Figur 11. Det skal nemnast at det denne dagen uansett låg is langs elva i andre områder enn der kollektorane ligg.



Figur 11 Bilete av området langs elva der kollektorane er plassert ved flo (til venstre) og fjære (til høgre). Bileta er tatt 8.3.2017 kl. 10 og kl. 15.

4.4 Golvarmeanlegg

Romoppvarming skjer ved hjelp av eit golvarmeanlegg, der det er lagt golvarmesløyfer i alle rom utanom vedlager, kjølerom, stall og loft. Senteravstanden mellom røyra er 15 eller 20 cm avhengig av romtype, med unntak av pauserommet midt i bygget i andre etasje som har 25 cm senteravstand. I første etasje er røyra montert på isopor, medan dei i andre etasje er montert på trinnlydsgolv, begge dekkja med betong. Dimensjonerande effektbehov og temperaturnivå er høvesvis 19 kW og 35/30 °C.

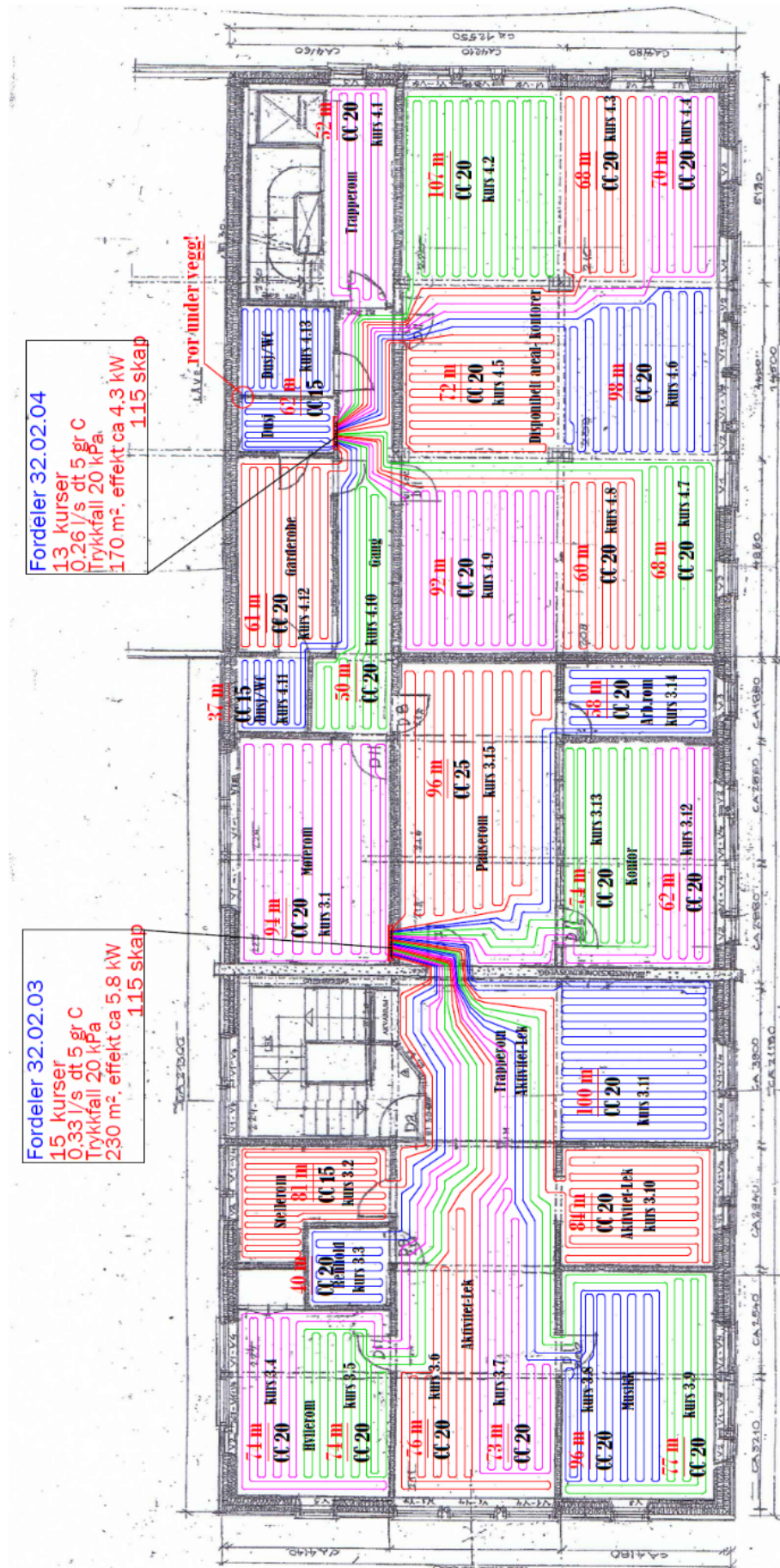
Romtemperaturen regulerast ved hjelp av romtermostatar og aktuatorar i golvarmeanlegget. Magnetventilar (aktuatorane) regulerer kvar enkelt kurs i golvarmeanlegget, slik at dei opnar og stenger (dvs. enten heilt opne eller heilt lukka) ut frå kva signal termostatane gir om varmebehovet i rommet. Driftstida for bygget er frå 0600-1700, og som grunnregel skal primærrum ha romtemperatur 20 °C i driftstida samt då dei er booka og 18 °C utanfor driftstida, medan sekundærrum skal ha 18 °C heile tida. Det finnast og nokon unntak med andre temperaturnivå, til dømes i kontorlokala til utleige som ikkje er i bruk. Målt temperaturnivå og settpunktstemperatur kan overvakast med historikk i SD-anlegget.

Det er montert to sirkulasjonspumper av typen Wilo-Stratos Para 25/1-8 T3, som går til nordsida og sørsida av bygget. Desse er turtalsregulerte mot trykkdifferanse, slik at dei aukar pumpekrafta ved redusert trykk og temperatur. Tilsvarande vil dei redusere pumpekrafta ved aukande trykk og temperatur. Bygget har vidare fire fordelarskap, der felles for alle er at temperaturdifferansen er 5 °C, trykkfallet er 20 kPa og elles er informasjonen lista i Tabell 6.

Tabell 6 Oversikt over fordelarskapa i golvarmesystemet med tilhøyrande kursar, volumstraum, areal for golvarmesløyfene og effekt. (Sveistrup, 2014)

Fordelar nr.	Kursar	Volumstraum	Areal	Effekt
32.01.01	14	0,29 L/s	202 m ²	5,1 kW
32.01.02	8	0,22 L/s	152 m ²	3,8 kW
32.02.03	15	0,33 L/s	230 m ²	5,8 kW
32.02.03	13	0,26 L/s	170 m ²	4,3 kW
Totalt	50	1,10 L/s	754 m ²	19,0 kW

Figur 12 og Figur 13 gir ei oversikt over plasseringa til fordelarskapa og korleis golvarmesløyfene er fordelt over dei ulike etasjane.



Figur 13 Fordeling av golvvarmesløyfer i 2. etasje. (Sveistrup, 2014)

4.5 Ventilasjonssystem

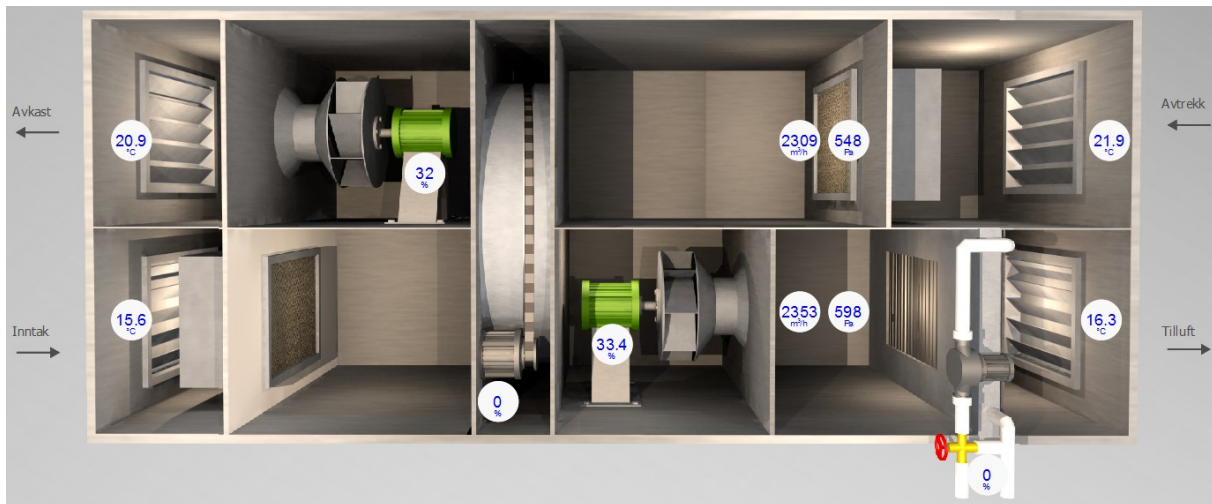
Ventilasjonsaggregatet er av typen DVCompactE 40 frå Systemair. Det er plassert på loftet over stallen og røyrføringane er enkelt distribuert frå loftsarealet, som vist på Figur 14. Anlegget har ein spesifikk vifteeffekt (SFP) på $1,50 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ved reint filter inkl. frekvensomformar, og det er balansert ventilasjon i høve til TEK 10. Det nyttast ein høgeffektiv roterande varmegjenvinnar med verknadsgrad $84,5 \%$, som regulerast trinnlaust av ein innebygd frekvensstyring. Varmegjenvinnar og varmebatteri regulerast i sekvens av ein PI-regulator. Informasjon om anlegget er henta frå databladet til ventilasjonsaggregatet. (Systemair, 2014)



Figur 14 Bilete frå loftet som viser ventilasjonsføringane til dei ulike romma.

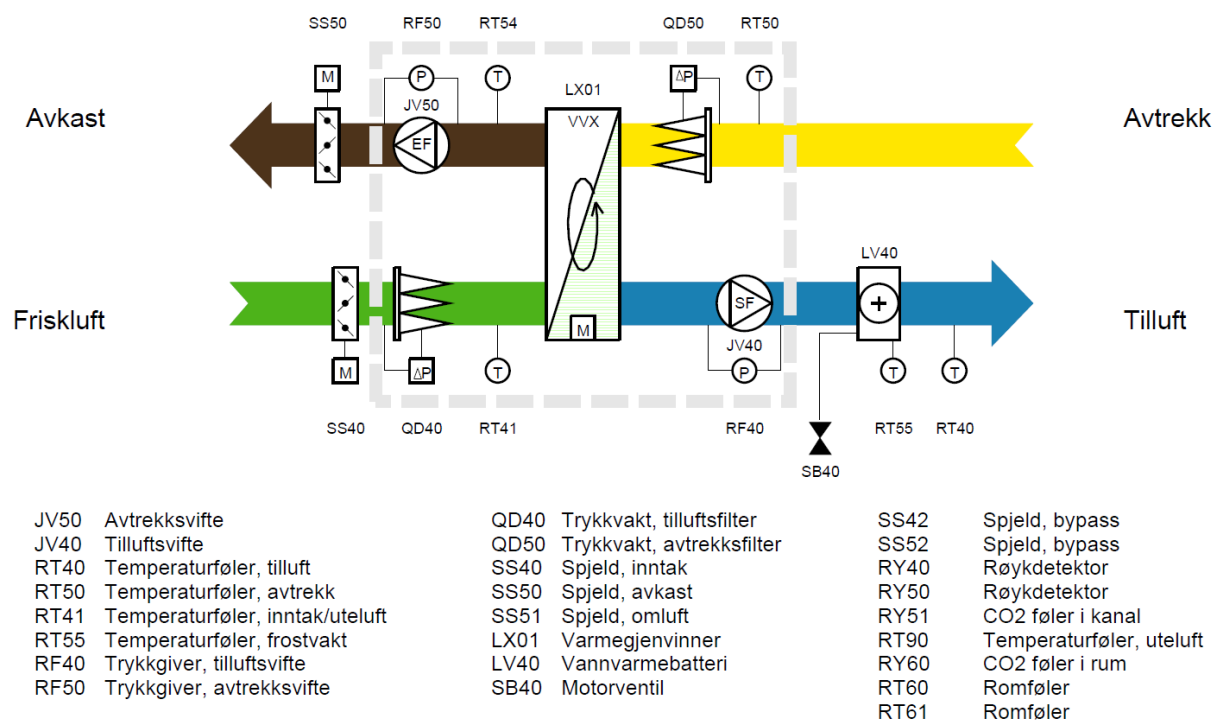
Varmebatteriet er av typen DVH-40-2R-10NC, og har dimensjonerande effekt $21,54 \text{ kW}$ ved lufttemperaturar $13,6/21,0 \text{ }^\circ\text{C}$, vass temperaturar $45/35 \text{ }^\circ\text{C}$ og volumstrøm $0,52 \text{ l/s}$. Vidare er det dimensjonert for luftmengde $8500 \text{ m}^3/\text{h}$ og lufthastigheit $1,97 \text{ m/s}$, medan vasshastigheita er $0,72 \text{ m/s}$. Ein utvendig anleggspølar sørger for frostsikring av varmebatteriet, og regulatoren gir alltid eit signal til shuntventil for å sikre tilstrekkeleg gjennomstrøyming av varmt vatn. Dersom returvasstemperaturen fell under settpunktet for frostvakt, stoppar viftene og spjelda stenger.

Sirkulasjonspumpa frå teknisk rom til varmebatteriet er av same type som for golvvarmeanlegget, og framfor batteriet er det koplå inn ein trevegsventil (KVS 6,30 DN20, innvendig koplå), som vist i Figur 15. Pådraget til varmebatteriet blir styrt av ventilasjonskontrolleren. Dersom ventilen er stengt (slik som på figuren der det er 0% pådrag), vil alt vatnet sirkulere i omløpsleidningen som i tillegg fungerer som frostsikring, medan dersom ventilen er heilt open (100% pådrag) hentar varmebatteriet all varme frå akkumuleringstanken og det er ingen sirkulasjon via omløpsleidningen. (Hustad, 2017)



Figur 15 Skjermbilete frå ventilasjonsfanen i SD-programvara 12.5.2017 kl. 17:50. Trevegsventilen til varmebatteriet er lokalisert nede til høgre på biletet.

Viftestyringa er behovsstyrt, noko som vil seie at det er variabel luftmengde (VAV - Variable Air Volume) ut frå temperaturnivå og CO₂-følarar. Luftmengda blir og redusert utanfor driftstida til bygget, som er frå 0600-1700. Temperaturen blir regulert basert på avlesing frå temperaturfølarar i tilluftskanalen og avtrekkskanalen. Settpunkttemperaturen for avtrekksluft er satt til 19 °C, og det er denne som styrer reguleringa av ventilasjonsaggregatet. Flytskjemaet for ventilasjonsaggregatet er presentert i Figur 16.



Figur 16 Flytskjema for ventilasjonsaggregatet. (Systemair, 2014)

4.6 Endringar i varmesystemet i løpet av våren 2017

I løpet av arbeidet med masteroppgåva våren 2017 har det skjedd ein del endringar i varmesystemet. Desse endringane har hatt innverknad på både reguleringa og energibruken til varmesystemet, og er derfor viktig å inkludere i rapporten. Det er inkludert noko analyse rundt endringane i dette delkapittelet som vil bli utdjupa seinare i rapporten. Nedanfor følgjer eit hendingsforløp for kva som har skjedd.

20. februar: Den eksterne varmtvassberedaren vart kopla ut, då barnehagen har lågt forbruk av varmt tappevatn og varmtvassproduksjonen til varmpumpa vart rekna som tilstrekkeleg. Dette var tenkt som å vere meir energieffektivt, då varmpumpa berre løfta temperaturen til 50 °C og ein kutta leddet der varmtvassberedaren auka temperaturen til 70 °C elektrisk. Varmepumpa køyrer legionellasikring ein gong i veka, slik at det skal vere trygt å levere eit lågare temperaturnivå.

23. februar: Filteret i kollektorsystemet vart reinsa for ureinheiter, og det vart påpeikt at den eine innreguleringsventilen ikkje fungerer. Dette medfører at volumstraumen i kollektorkursane til varmpumpa kan vere i ubalanse. Dette problemet vart oppdaga første gong i oktober 2016 i samanheng med andre problem med brinekretsen. Byggeigaren vart informert, men det vart ikkje avgjort å gjere noko for å ordne dette denne dagen.

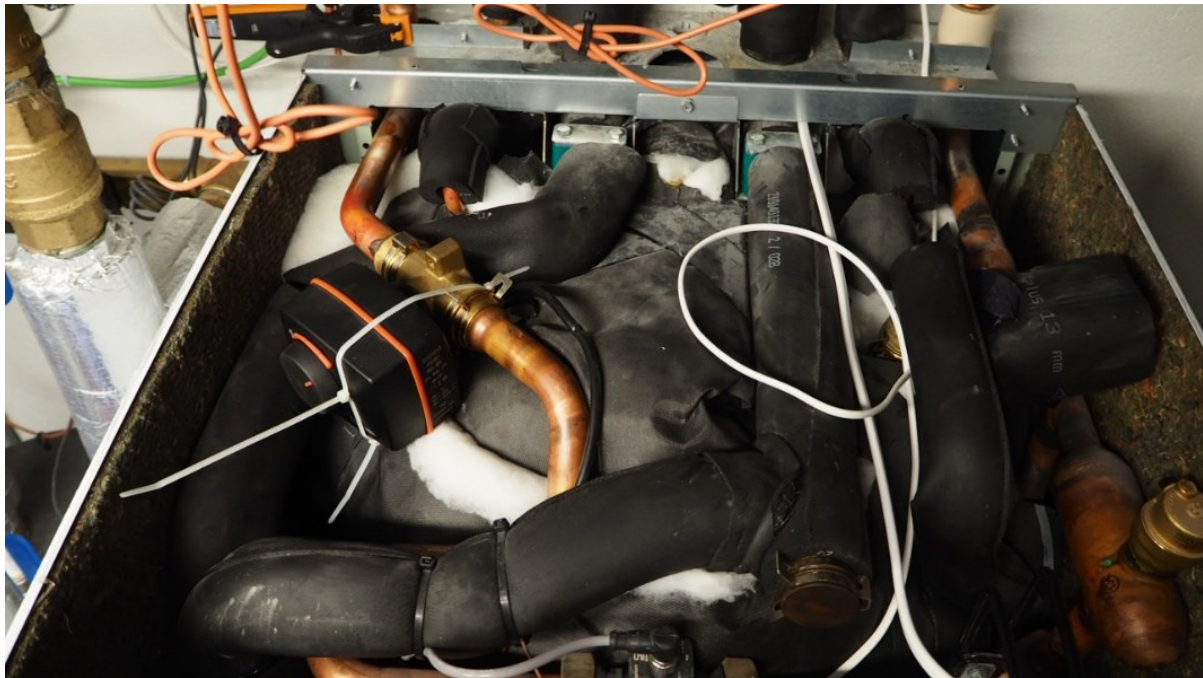
2. mars: Det er effektprising på nettleiga for yrkesbygg, slik at høge effekttoppar fører til høge straumrekningar. Enoco kopla derfor inn ein maksimalvoktar (effektregulator) for å redusere effekttoppane til bygget, sidan det har vore mykje bruk av spisslast. Maksimalvoktaren les av effektbruken til elkjelen i akkumuleringstanken samt hovudmålaren for bygget og avgrensar innkoplinga til elkjelen dersom denne kolliderer med dei andre elektriske lastene i bygget. Maksimal effekt for bygget totalt vart satt til 25 kW.

Samtidig vart det mogleggjord avlesing av temperaturnivå i SD-programvara for energimålarane i varmesystemet, samt historikk for desse. Det vil seie tur- og returtemperaturar til golvvarme, varmbatteriet i ventilasjonsanlegget, varmt tappevatn og mellom varmpumpa og akkumuleringstanken. Etter dette vart det oppdaga hyppige temperatursvingingar i varmeanlegget, samt regelmessig innkopling av elkjelen i akkumuleringstanken med eit høgt effektnivå i samband med temperatursvingingane.

9. mars: Regulering av varmpumpa vart endra frå utetemperatur-kompensering til fast utgåande vass temperatur på 40 °C i romoppvarmingsmodus, for å undersøkje om dette hadde samanheng med temperatursvingingane. Dette gav ingen endring i temperatursvingingane, men gav noko meir stabile forhold til analysen og feilsøkinga rundt problemet.

11. mars: Maksimalvoktaren vart justert, slik at maksimal effekt som kunne vere innkopla totalt i bygningen vart endra frå 25 til 22 kW. Elkjelen i akkumulatortanken kopla no berre inn i helgene, men temperatursvingingane haldt fram.

25. april: Det vart oppdaga at trevegsventilen i varmpumpa som skil mellom romoppvarming og tappevassoppvarming manglar ein skrue, og ikkje var heilt tett. Figur 17 viser eit bilete av toppen av varmpumpa, der dekselet til ventilen er stripsa fast. Omtrent kvar tredje time skifta varmpumpa over til tappevassoppvarming, slik at settpunkt for utgåande vass temperatur blir endra frå 40 til 50 °C. Sidan trevegsventilen ikkje var heilt tett, førekom det ein lekkasje av vatn med høgare temperatur til røyret som går til akkumuleringstanken. Dette førte til at turtemperaturen i SD-programvara steig omtrent kvar tredje time.



Figur 17 Bilete av toppen av varmepumpa utan deksel. Trevegsventilen som styrer om varmepumpa er i romoppvarming- eller tappevassmodus manglar ein skrue og var festa med strips.

2. mai: Trevegsventilen vart ordna ved å sette i ein ny skrue. Overvaking av turtemperaturen frå varmepumpa i SD-anlegget viste at det framleis blir ein liten topp i den augneblinken varmepumpa skiftar til romoppvarmingsmodus. Dette kan komme av at det er litt varmt vatn igjen i røret frå varmepumpa før trevegsventilen og at temperaturfølarer er plassert relativt nært utløpet frå varmepumpa. Denne toppen er ikkje oppfatta som å vere noko problem. Tappevassmodusen vart endra frå «Reheat» til «Scheduled» med berre ein periode i tappevassmodus kvar dag kl. 05:00 med oppvarming til 60 °C måndag-fredag og 45 °C laurdag og søndag. Gardsstyraren fekk instruksar om korleis han kunne skru på tappevassoppvarming manuelt ved behov.

5. mai: Tappevassmodusen frå 2. mai viste seg å kollidere med romoppvarmingsbehovet, samt føre til innkopling av elkjel som følgje av høg settpunktstemperatur for varmt tappevatn (60 °C). Det viste seg og å vere for lite med ein tappevassoppvarming per dag. Det vart derfor denne dagen endra til følgjande tidspunkt og temperaturnivå for tappevassoppvarming:

- Søndag-torsdag: kl. 18:00, oppvarming til 55 °C
- Fredag-laurdag: kl. 18:00, oppvarming til 45 °C
- Måndag-fredag kl. 11:00, oppvarming til 45 °C

10. mai: Gardsstyraren sa ifrå om at dei framleis gjekk tom for varmt tappevatn, så det vart endra tilbake til «Reheat» på varmepumpa for å unngå meir problem fram til den eksterne varmtvassberedaren blir koplå inn igjen. Det vart oppdaga i ettertid at varmepumpa varmar tappevatn til 55 °C, i staden for 50 °C som tidlegare i Reheat-modus, noko som fører til at elkjelen slo meir inn enn før i samband med tappevassoppvarming, grunna eit høgare temperaturløft.

18-19. mai: Begge innreguleringsventilane vart bytta ut, og volumstraumen vart justert til 25 L/min på kvar av dei to kollektorkursane. I tillegg vart det satt inn to ekstra siler i forkant av innreguleringsventilane, for å hindre at dei blir øydelagd på ny av framandlekamar i systemet. Framandlekamane kjem av at jordkollektorane vart revet av to gongar ved montering, og at dei ikkje vart reingjort tilstrekkeleg i ettertid. Med denne løysinga skal det vere raskare å reinse ut framandlekamar, og det går an å gjere det for ein av kursane samtidig som at varmpumpe trekker varme frå den andre kursen. Temperaturen inn på fordamparen steig frå mellom -2-0 °C til mellom 4-6 °C etter innreguleringsventilane vart ordna, så det er forventet vesentleg betre driftsforhold for varmpumpe i tida framover.

Top VVS kontrollerte i tillegg temperaturnivåa i varmesystemet, for å sjekke at alt fungerer. Reguleringa til varmpumpe vart endra tilbake til utetemperatur-kompensering, og den eksterne varmtvassberedaren vart kopla inn igjen. Varmpumpe står framleis på «Reheat», men temperaturnivået i tappevassmodus vart senka frå 55 til 50 °C. Det er og planlagt å justere ned volumstraumen på sirkulasjonspumpe til varmebatteriet, slik at den hentar litt mindre energi frå akkumuleringstanken.

Det vart og montert eit kort (RT Realtime RTD-LT/CA) i varmpumpe, som skal mogleggjere overvaking og regulering av varmpumpe frå SD-anlegget, samt bivalent regulering av spisslasta. Før dette eventuelt fungerer må den elektriske biten koplast inn av Enoco. Dette vart ikkje gjort innan leveringsfristen for masteroppgåva.

26. mai: Etter at den eksterne varmtvassberedaren vart kopla inn vart det etter kvart levert kaldt vatn i kranene. Top VVS oppdaga at kaldt byvatn gjekk rett inn i varmtvasskretsen via sirkulasjonsleidningen. Ventilane til sirkulasjonsleidningen vart stengt og sirkulasjonspumpe slått av, og då kom det varmt vatn igjen. Brukarane av bygget må berre vente litt grunna lang avstand mellom tank og tappevasspunkt. Om dette skyldast feilkopling frå tappevassrørleggaren, ikkje montert tilbakeslagsventil eller defekt sirkulasjonspumpe er uvisst. Det var ikkje tid til å undersøkje dette problemet nærmare i denne rapporten.

5 Måleresultat

I dette kapittelet blir det presentert ei oversikt over installerte måleinstrument samt kvalitetssikring av måleutstyret. Det blir også presentert driftsdata for anlegget og samanlikning med reelt forbruk. For å kunne vurdere plassering av måleutstyr og avlesne driftsdata har ein vore avhengig av å bruke enkelte av funna som vart gjort i analysen i neste kapittel. Det er også utført noko analyse rundt resultata i dette kapittelet, men analysen er hovudsakleg presentert i kapittel 6.

5.1 Oversikt over installert måleutstyr

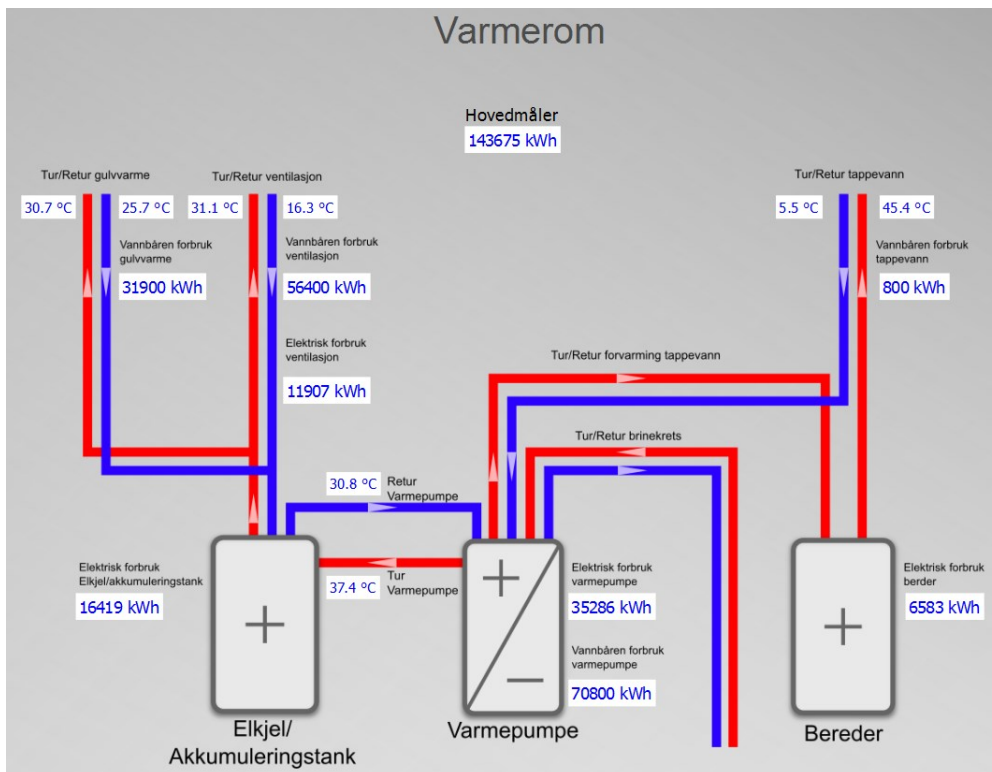
Dei tekniske installasjonane styrast og regulerast av eit avansert SD-anlegg, og installasjonane er godt instrumentert med blant anna elektriske og termiske effekt- og energimålarar for å kunne foreta ein detaljert energioppfølging. Bygget er delt i fire soner definert etter type bruk og blir regulert i høve til dette. Enoco har i tillegg eit moderne skybasert energioppfølgingssystem (EOS), med oversikt over energibruken for ulike målarar. Her er det gode moglegheiter for å visualisere forbruket, og ein kan lage tabellar og grafar, samt eksportere data til Excel. Skjermbilete frå dei ulike menyane er vist i Vedlegg 3. Det er og alarmfunksjonar både i SD-programvara og på EOS-nettsida som varslar dersom noko er gale.

Det er berre elektrisk forbruk for varmpumpa som loggast i SD-programvara og i energioppfølgingssystemet, så analysen av varmpumpeanlegget er basert på dei termiske energimålarane montert seinare i varmesystemet. Energimålarane måler tur- og returtemperaturar samt massestraum, og brukar spesifikk varmekapasitet for vatn til å berekne energibruken. Forbruk lagrast kvar time, dagleg, månadleg og årleg. Det er montert fire termiske energimålarar på teknisk rom, av typen vist på Figur 18, og frå mars 2017 var det mogleg å lese av temperaturnivåa i SD-anlegget.



Figur 18 Bilete av ein av energimålarane på teknisk rom. Denne er for "Varmepumpe produksjon" og biletet vart teke 4.4.2017.

Figur 19 viser eit skjermbilete med oversikt over varmesystemet. Skjermbilete frå dei andre visningane i SD-programvara kan finnast i Vedlegg 4. Det er mogleg å lese av temperaturnivå og annan informasjon om varmepumpa manuelt i displayet, men dette loggast ikkje og er ikkje tilknytt SD-anlegget. Det er derfor ikkje presentert informasjon om måleinstrumenta i varmepumpa, då dette ikkje blir nemneverdig brukt i analysen av anlegget.



Figur 19 Skjermbilete av varmesystemet frå SD-anlegg, tatt 28.2.2017 kl. 12:00.

Visninga i SD-programvara i Figur 19 gir ei oversikt over temperaturnivåa i varmesystemet, samt total energibruk for følgjande postar:

- Vannbåren forbruk gulvvarme – Varme levert til gulvvarmeanlegget frå akkumuleringstanken.
- Vannbåren forbruk ventilasjon – Varme levert til varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet frå akkumuleringstanken.
- Vannbåren forbruk varmepumpe (og kalla Varmepumpe produksjon) – Varme levert frå varmepumpa til akkumuleringstanken.
- Vannbåren forbruk tappevann (og kalla Tappevann forbruk) – Varme levert frå varmepumpa til varmt tappevatn.
- Elektrisk forbruk Elkjel/akkumuleringstank – Straummålar tilknytt elektriske varmeelement i akkumuleringstanken. For momentaneffekt elkjel i SD-programvara inkluderer denne i tillegg 3 kW av effekten frå spisslasta i varmepumpa, sidan maksimalvoktaren må ta omsyn til total effekt. Sidan reguleringa av elkjelen skjer i parallell med trinn 2 i varmepumpa, vil dei første 3 kW frå trinn 1 allereie vere innkopla.
- Elektrisk forbruk varmepumpe – All elektrisk forbruk i varmepumpa, inkl. kompressordrift, sirkulasjonspumper, elektriske varmeelement, osv.
- Elektrisk forbruk bereder – Straummålar tilknytt elkolbe i ekstern varmtvassberedar.

Tabell 7 gir vidare ei oversikt over monterte måleinstrument i varmeanlegget, med tilhøyrande plassering og nøyaktigheit.

Tabell 7 Oversikt over måleinstrument på Medbroen gardsbarnehage. (Hustad, 2017)

Målar	Type	Plassering	Nøyaktigheit
Termiske energimålarar (4 stk.)	Kamstrup Multical 602	Sjå Figur 4	$E_c \pm (0,5 + \Delta\Theta_{\min}/\Delta\Theta) \%$ *
Temperaturfølarar tilknytt energimålarar (8 stk.)	PT500	Sjå Figur 4	Avhengig av lengde og kabelverrsnitt
-Elektrisk forbruk varmepumpe	Carlo Gavazzi	-Sikringsavgang til varmepumpa	$\pm 0,5$ RDG (straum/spenning)
-Elektrisk forbruk ventilasjon	EM24-DIN	-Ventilasjonsaggregat	
-Elektrisk forbruk elkjel/akkumuleringstank		-Akkumuleringstank	
Elektrisk forbruk varmtvassberedar	IME 1-fase målar	Varmtvassberedar	Ikkje oppgitt
Romtemperaturfølarar	PT1000	Sjå Vedlegg 5	Avhengig av lengde og kabelverrsnitt
Temperaturfølar, frostsikring varmebatteri	PT1000	Utvendig anleggspølar	Avhengig av lengde og kabelverrsnitt
Temperaturfølar, utetemperatur-kompensering	Ikkje oppgitt	Sjå Figur 20	Ikkje oppgitt
Temperaturfølarar i ventilasjonsanlegg (4 stk.)**	PT 1000	Inntak, avkast, tilluft og avtrekk.	Avhengig av lengde og kabelverrsnitt
CO₂-følarar (4 stk.)	Jumo	Sjå Vedlegg 5	$\pm(50 \text{ ppm} + 2 \% \text{ av målt verdi})$ ved området 0-2000 ppm
Trykkgivarar	DPT-Dual-MOD og DPT-R8	Ventilasjonsaggregat	$\pm 1,5 \% + 1 \text{ Pa}$

* $\Delta\Theta_{\min} = 3 \text{ K}$. E_c er usikkerheit i energiberekninga.

**Det er i tillegg ein utetemperaturfølar tilknytt ventilasjonsanlegget, som ikkje brukast til regulering.

Romtemperaturfølarane er av den passive typen, og måleusikkerheita blir dermed avgjord av kabellengda i høve til kabelverrsnittet. Dersom kabelen er relativt lang, så vil det vere ein intern motstand som kan føre til at den viser feil temperatur. Ved større kabelverrsnitt blir motstanden redusert, slik at ein kan ha større lengder utan for mykje tap. For dette anlegget er det brukt kablar med tverrsnitt $0,5 \text{ mm}^2$, slik at kabelstrekk på inntil 10 meter ikkje vil gje vesentleg feilmargin. Det er i tillegg mogleg å kalibrere desse målarane i ettertid basert på manuelle temperaturmålingar i rommet for å sjå om dei samsvarar med verdiane gitt til SD-anlegget. I

løpet av våren er det foretatt manuelle temperaturmålinger i enkelte av romma, for å utføre ein slik kalibrering. (Hustad, 2017)

Varmepumpa blir regulert etter ein utetemperatur-kompenseringskurve, og temperaturfølar er plassert som vist på Figur 20. Denne er plassert rett utanfor teknisk rom på nordsida av bygget, samt delvis i ly av ein murvegg. Den kan dermed ikkje bli påverka av sollys, og er lite utsett for vind. Sidan den er plassert i ein dørkarm kan den likevel bli noko påverka av eksfiltrasjon, altså inneluft som går ut gjennom sprekkar i bygningskroppen. Den andre kvite boksen måler utemperaturen som blir registrert i SD-programvara og på EOS-nettsida. Sidan dette ikkje blir logga frå same målarer kan det vere eit avvik mellom registrerte temperaturar i SD-program og på EOS-nettsida i forhold til utemperaturen som regulerer varmpumpa.



Figur 20 Plassering av temperaturfølar som styrer utetemperatur-kompenseringskurven i varmpumpa.

I tillegg til temperaturnivåa i varmesystemet er det blant anna mogleg å lese av følgjande parametarar i SD-programvara med full historikk:

- Innkopling av elkjelen i akkumuleringstanken (frå 02.03.2017)
- Målte romtemperaturar samt settpunktstemperaturar for dei aller fleste rom (ikkje inkl. alle mindre sekundærrom).
- CO₂-nivå og settpunkt for dei fire sensorane i bygget. Øvre grense er satt til ca. 800 ppm.
- Utetemperatur
- Luftstraum for tilluft og avtrekk, samt viftetrykk for både tilluft og avtrekksviftene.
- Pådraget til varmebatteriet i ventilasjonsanlegget (%).
- Avtrekkstemperatur, avkasttemperatur, samt målt verdi og settpunkt for tilluftstemperatur.

Opplysinga kan vere per minutt, time, dag, veke, månad eller år. Ein kan og trykke på grafen for å få oppgitt verdi, dato og klokkeslett i gitte punkt meir nøyaktig enn ved å lese av på aksane. Det kan vere andre parametarar ein kan lese av i SD-programvara utanom dei nemnd over, til dømes knytt til elektrisitet eller elektronikk, men som ikkje er relevante for denne rapporten. I

tillegg finnast det nokon parametrar som det berre blir logga historikk for siste timen, til dømes spjeldstyring.

I SD-programvara blir det logga momentanverdiar som blir lese av kvart sekund. Sanntidsresultata blir berre lagra for ein kort periode (eit døgn), sidan det krevjar svært stor lagringsplass, så det blir derfor friggitt data etter ei viss tid og brukt gjennomsnittlege verdiar i SD-programvara. Historikkfunksjonen er dermed mest nøyaktig då ein ser på måledata frå det siste døgnet. Over lengre tid, til dømes ein månad, visast det derfor berre gjennomsnittlege verdiar, noko som gjer analysen av anlegget vanskelegare då variasjonane og dynamikken ikkje kjem tydeleg fram. Det vart i periodar brukt mykje tid på undersøkingar av temperaturnivå i SD-programvara, for å få detaljert informasjon om kva som føregjekk. På EOS-nettsida kan ein hente ut nøyaktig informasjon for all energibruk ned på timesnivå.

5.2 Kvalitetssikring av målesystemet

5.2.1 Plassering av måleinstrument

Plassering av måleinstrument er viktig å undersøkje, då det kan førekomme feilplassering. Målet er å kvalitetssikre måleopplegget slik at ein veit med sikkerheit at det ein lesar av er riktig. Vidare vil målingane vise kor effektivt anlegget i realiteten er. Ein ting er berekna verdiar, noko anna er feltmåledata.

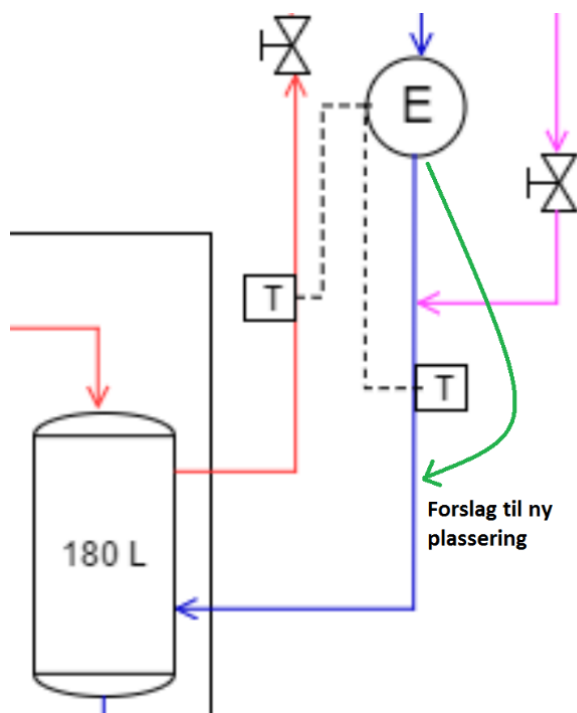
Innstikksventilane der temperaturfølarane er montert er ikkje isolerte, som vist på Figur 21, så det vil førekomme noko varmetap frå desse koplingane. Dette kan gje feil inntrykk av temperaturnivået i varmesystemet, då til dømes temperaturen på varmt vatn i akkumuleringstankane kan halde eit høgare nivå enn temperaturfølarane i røyra viser, spesielt dersom det ikkje er sirkulasjon i systemet (sirkulasjonen blir som nemnd ikkje logga). Jo høgare temperaturnivå, jo meir varmetap, så sidan dette er eit lågtemperaturanlegg er ikkje varmetap frå komponentar rekna for å vere noko stort problem. Teknisk rom, som riktig nok er relativt lite (7 m²) held likevel eit stabilt temperaturnivå på 23-25 °C gjennom året, så det førekjem definitivt varmetap frå komponentane. Dette vart i tillegg bekrefta med undersøkingar med termokamera, der det vart målt relativt høge overflatetemperaturar på fleire koplingar på teknisk rom, men dette vart ikkje prioritert å jobbe vidare med i oppgåva.



Figur 21 Bilete av innstikksventilen for temperaturfølararen i turrøyret til varmebatteriet.

Den termiske energimåleren «Tappevann forbruk» kom først skikkeleg i drift frå oktober 2016. Grunna feilkoplingar i varmesystemet som gjorde at det gjekk kaldt byvatn både til varmpumpa og varmtvassberedaren, leverte den eksterne varmtvassberedaren alt varmtvatn til bygget før dette tidspunktet. Ein stengt ventil mellom varmpumpa og varmtvassberedaren førte til at det ikkje sirkulerte varmtvatn, og dermed har varmpumpa berre vedlikeheldt temperaturen i sin interne tappevasstank for å vege opp for varmetapet derfrå fram til dette tidspunktet.

Den termiske energimåleren for tappevassforbruket er plassert i tilknytning til varmpumpa, for å måle kor mykje varme varmpumpa leverer til forvarming av varmt tappevatn. Som vist på Figur 22 måler den returtemperaturen etter resirkulasjonsleidningen, medan volumstraumen blir målt før resirkulasjonsleidningen kjem inn på kaldtvasskretsen. Temperaturauken resirkulasjonsleidningen medfører blir dermed inkludert, men ikkje volumstraumen frå resirkulasjonsleidningen. Det er derfor foreslått å flytte energimåleren som markert med grøn pil. Det er viktig å vere merksam på at denne energimåleren berre inkluderer energien varmpumpa leverer til den eksterne varmtvassberedaren, medan det reelle forbruket av varmt tappevatn også blir påverka av elkolben i varmtvassberedaren. Ettervarma vatn frå varmtvassberedaren kan og komme tilbake til varmpumpa gjennom resirkulasjonsleidningen, og dermed bli registrert av returtemperaturføleren.



Figur 22 Utsnitt frå prinsippskissa som viser plasseringa av energimåleren til "Tappevann forbruk" og forslag til ny plassering.

Temperaturføleren som måler turtemperatur frå varmpumpa til akkumuleringstanken er plassert i eit bend over varmpumpa. Denne er ganske nært varmpumpa, og sidan varmen stiger vil denne bli påverka dersom det lek over varme frå varmpumpa i tappevassmodus. Dette kan ein sjå tydeleg i SD-programvara, og det gir utslag som kan verke alarmerande. Dersom temperaturføleren hadde vore plassert nærmare akkumuleringstanken ville den mindre mengda vatn som lek gjennom ventilen blitt meir blanda ut, slik at det ville gitt mindre utslag i SD-programvara.

5.2.2 Data frå EOS-nettside og SD-programvare

I forbindelse med kvalitetssikring av målesystemet vart det utført ein grundig gjennomgang av SD-programvara og EOS-nettsida, for å kontrollere at verdiane ein fekk ut var fornuftige. Gjennom dialog med Enoco har det blitt oppdaga enkelte feil som er blitt retta opp. Dialogen har og vore nødvendig for å få innsikt i korleis programvara fungerer og for å bli gjort merksam på uregelmessige måleresultat Enoco var klar over. Det vart til dømes oppdaga usannsynlege måleresultat som viste seg å kome av mangel på måledata, som følgje av at Enoco jobba med oppdateringar og vedlikehald på serveren til SD-anlegget. Dette skjedde til dømes i perioden 23.-27. januar 2017 og då vart data i SD-programvara presentert med ei rett linje frå målepunktet 23. januar til neste målepunkt 27. januar, medan energibruken på EOS-nettsida vart akkumulert og logga frå den dagen anlegget kom tilbake i drift.

I SD-programvara er det ein funksjon som heiter Trend, der ein får opp ei oversikt over alle (570) «server tags» (elektroniske merkelappar) som er tilknytt SD-anlegget. Desse vart gjennomgått for å sjå kva av dei som var aktuelle til analysen av anlegget, og for å kontrollere om dei relevante merkelappane fungerte og gav fornuftige verdiar. Det vart blant anna kontrollert romtemperatur, sidan det er desse som styrer romoppvarmingsbehovet i bygget. Under dette arbeidet vart det oppdaga følgjande feil:

- For både romtemperaturar og temperaturar i ventilasjonsanlegget førekjem det til tider plutselige dropp i temperaturnivå, til dømes frå rundt 20 °C til 12 °C og så hoppar dei raskt opp i same temperatur. Forklaringa var at Enoco gjorde service på anlegget og restarta PLSane. Då blir det logga verdien 0, som deretter blir midla over tid, slik at det ser ut som at det er målt lågare temperaturar.
- For temperaturane i ventilasjonsanlegget er det til tider blitt logga usannsynleg høge temperaturar, som openbart er feil. Dette gjeld avkasttemperatur, tilluftstemperatur samt settpunktstemperatur for tilluft der det er blitt logga høvesvis opp mot 6500, 340 og 3500 °C. Desse målingane har ikkje hatt noko innverknad på reguleringa av anlegget, så det er ikkje utført nokon tiltak for å rette opp i dette.
- Det var ein del merkelappar som ikkje vart brukt til noko, eller som viste seg å vere lagt inn for å teste noko. Enoco vart gjort oppmerksam på dei merkelappane det var mistanke om at ikkje fungerte, og kontrollerte desse.
- EOS-nettsida viste i tillegg at golvvarmeforbruket førre år var 194 510 kWh, noko som er usannsynleg høgt, då det ville svart til 234 kWh/(m²·år). Dette vart påpeika til Enoco som oppdaga at det 7. oktober 2016 vart lest inn 175 000 kWh, og har retta dette opp.
- Når ein eksporterer energibruk per time frå EOS, vart det oppdaga ein feil med datoane slik at det stod 01.01.2017 for alle målingane. Enoco er blitt informert om dette.

Feilsøking rundt slike problem kan vere tidkrevjande, før ein finn ut av årsaka. Før Enoco oppklarar årsaka til temperaturoppfall i romtemperatur, vart det til dømes undersøkt kva rom det gjaldt, for kva datoar det skjedde, kva golvvarmekursar som går til dei påverka romma og kva andre parametrar som gav unormale målingar i desse periodane.

5.3 Driftsresultat

5.3.1 Gjennomsnittleg varmeyting og COP

Sidan det ikkje var mogleg å lese av varmeyting og COP frå varmepumpa er desse blitt berekna basert på energimålarane plassert lenger ute i varmesystemet. Dette er gjort for perioden

1.1.2017-17.05.2017. Sidan det manglar måledata frå 23-26. januar vart verdiane som var akkumulert til 27. januar fordelt likt på dagane 23-27. januar. Utetemperaturar for denne perioden vart henta frå YR sine heimesider. (Jensen, 2017) Varmeyting og COP er berekna basert på følgjande formlar, der det er brukt namna på energimålarane:

$$\text{Varmeyting} = \text{Varmepumpe produksjon} + \text{Tappevann forbruk}$$

$$\text{COP}_{vp} = \frac{\text{Varmepumpe produksjon} + \text{Tappevann forbruk}}{\text{Varmepumpe forbruk}}$$

$$\text{COP}_{tot} = \frac{\text{Varmepumpe produksjon} + \text{Tappevann forbruk}}{\text{Varmepumpe forbruk} + \text{Elkjel/Akkumulator forbruk}}$$

COP skal eigentleg bereknast berre ut frå varmeytinga til kondensatoren (Q) dividert med kompressorarbeidet (W), og det blir ikkje tilfelle for desse berekningane. Energimålarane for Varmepumpe produksjon og Tappevann forbruk vil inkludere varmen som blir tilført frå spisslasta (2 x 3 kW) internt i varmpumpe. I tillegg inkluderer Varmepumpe forbruk all elektrisk energibruk i varmpumpe, det vil seie motor/kompressor, elektriske element, sirkulasjonspumper, osv. Det er altså COP for varmesystemet som er berekna her.

På EOS-nettsida kan ein velje om ein vil hente ut data per time, dag, veke eller månad. Grunna problem ved uthenting på timebasis, vart det henta ut energibruk per dag og for effektbruken er det funne gjennomsnittsverdiar per time for kvar av dagane ved å dividere energibruken med 24 timar. Varmeyting og COP vart deretter berekna basert på gjennomsnittleg effektbruk, og resultatane kan finnast i Vedlegg 6. Varmtvassberedaren var berre koplå inn fram til 20.02.2017, så dette vart ikkje inkludert i berekningane. Energibruken utgjorde 177 kWh, noko som blir av liten betydning samanlikna med dei andre målingane.

Tabell 8 Oversikt over gjennomsnittleg, høgste og lågaste verdi for varmeyting og COP for perioden 1.1.2017-17.5.2017.

	Utetemperatur [°C]	Varmeyting [kW]	COP _{vp} [-]	COP _{tot} [-]
Snitt	2,6	8,0	2,7	2,5
Høgste verdi*	15	14,5	3,3	3,3
Lågaste verdi*	-9,9	1,5	1,6	1,1

*Høgste og lågaste verdi er for kvar enkelt parameter og er meint for å gje innsikt i kva rekkevidde verdiane er innanfor.

Det blir ikkje heilt riktig å berekne varmeyting og COP basert på desse målingane, men det var berre desse som var tilgjengelege. I tillegg burde måleperioden vore for eit fullt kalenderår, og verdiane burde blitt normalårskorrigert. Dei kan likevel gje eit bilete på yteevna til anlegget for denne perioden. Desse verdiane for COP er svært låge, noko som vil bli ytterlegare diskutert i kapittel 6.6.2.

Den lågaste verdien målt for varmeyting (1,5 kW) er mindre enn den lågaste effekten varmpumpe kan levere. Dette kjem av at effektbruken er berekna som gjennomsnittleg per time kvar dag og varmpumpe kan dermed ha vore av delar av dagen der oppvarmingsbehovet var lågare enn den minste effekten varmpumpe kan levere. Varmepumpe vil i slike periodar regulerast ved å slå seg av og på. Denne målinga vart gjort då utetemperaturen var på sitt

høgaste (15 °C). Den høgste verdien (14,5 kW) vart målt då utetemperaturen var på sitt lågaste (-9,9 °C), så det gir også meining. Dette er noko høgare enn maksimal effekt varmepumpa kan levere i følge spesifikasjonane og det må ha samband med innkopling av elkjelen i akkumuleringstanken. Effektbruken til elkjelen var på sitt høgaste denne dagen (5,4 kW i snitt), og sidan den er plassert i nedre del av akkumuleringstanken har den overført varme til returrøret til varmepumpa. Dette er svært ugunstig for drifta av varmepumpa, noko som vil bli ytterlegare diskutert i kapittel 6.3.1.

COP_{vp} inkluderer berre effektbruken relatert direkte til varmepumpa, medan COP_{tot} også inkluderer innkoplinga av elkjelen i akkumuleringstanken. Den lågaste verdien for COP_{tot} (1,1) er ikkje overraskande frå same dagen som det vart målt høgst gjennomsnittleg effektbruk per time for elkjelen (5,4 kW). Energimålarane Varmepumpe produksjon og Varmepumpe forbruk målte høvesvis 14,2 og 7,4 kW i gjennomsnittleg effektbruk per time denne dagen, noko som forklarar den svært låge verdien for COP_{tot}. Det er fleire årsakar til at denne verdien blir så låg, og det vil ha samband med fleire av feila som er funne i kapittel 6. Det er svært uheldig at varmesystemet har så låg effektfaktor når romoppvarmingsbehovet er på sitt største.

Den lågaste verdien for COP_{vp} (1,6) vart målt på den varmaste dagen, der varmeytinga var på sitt lågaste (1,5 kW). Dette har hovudsakleg samband med at varmepumpa slo seg av og på, men kompressorverknadsgraden blir også noko redusert då varmepumpa ikkje går på full kapasitet. Turtalsregulerte kompressorar skal halde ein relativt høg kompressorverknadsgrad også ved dellast.

Ifølge spesifikasjonane til varmepumpa skulle COP ved brinetemperatur 0/-3 °C vore 4,35 og 3,29 ved høvesvis 35/30 °C og 45/40 °C vasstemperatur. Dette anlegget ligg ein plass i mellom, men nærmast sistnemnde, så då burde COP vore nærmare 3,5. Dette er ikkje tilfelle då gjennomsnittsverdien for COP_{vp} er 2,7. Denne vil betre seg etter at innreguleringsventilane for brinekretsen vart ordna, slik at varmepumpa får eit tilstrekkeleg varmeuttak frå jordkolektorane.

5.3.2 Formålsdelt energibruk

Varmesystemet leverer varme til golvvarmeanlegget, oppvarming av ventilasjonsluft og til varmt tappevatn. Tabell 9 presenterer ulike framstillingar av energibruken for måleperioden. Romoppvarming totalt er gitt av summen for energibruk til golvvarme og ventilasjonsvarme. Det er verdt å merkje seg at energibruken til golvvarme er runda av til nærmaste 10-ar. Det har ikkje skjedd for dei andre energimålarane til tross for at dei er av same typen. Avviket for avrundinga er uansett ikkje rekna for å utgjere noko problem, sidan det vil ha blitt runda både opp- og nedover. For desse verdiane er det også lagt inn gjennomsnittlege verdiar for perioden 23-27. januar, då måledataa for denne perioden var akkumulert til 27. januar.

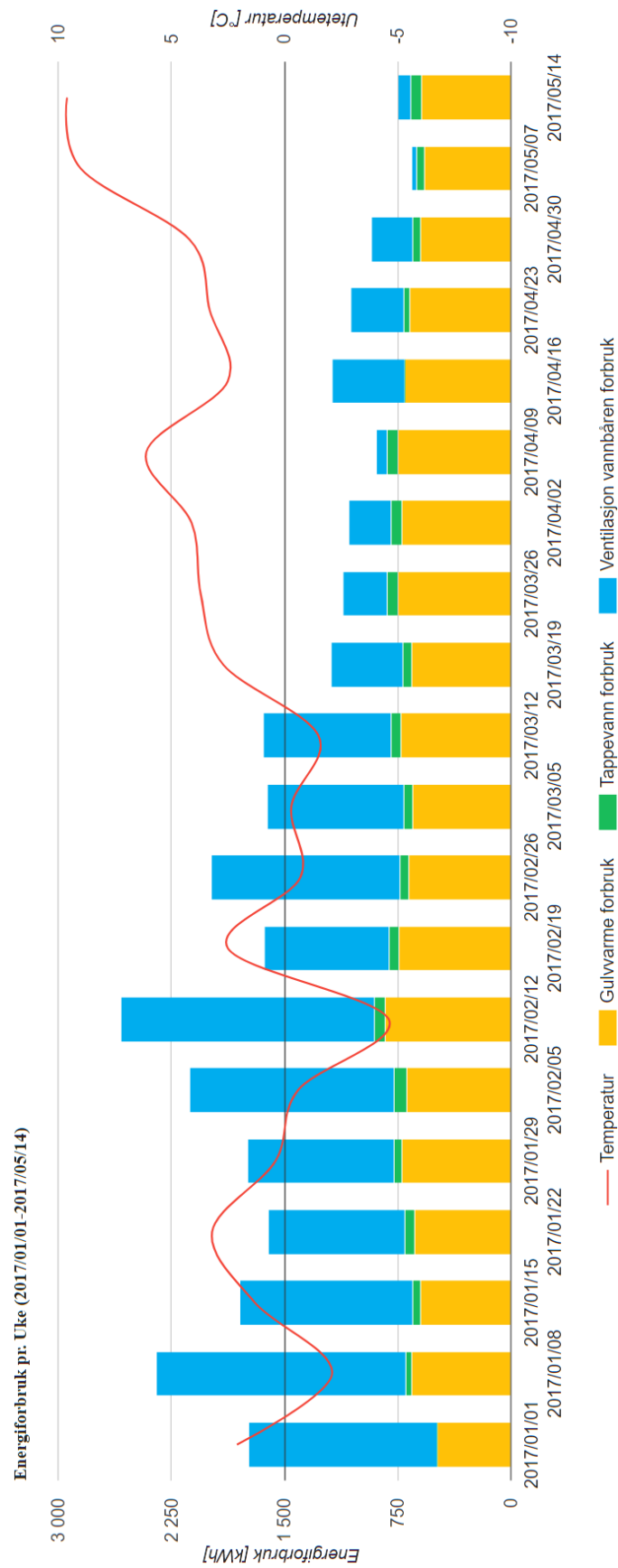
Tabell 9 Oversikt over totalt, gjennomsnittleg og spesifikt forbruk til golvvarmeanlegg, ventilasjonsvarme, varmt tappevatn og romoppvarming totalt for perioden 1.1.2017-17.5.2017.

	Golvvarme	Ventilasjonsvarme	Varmt tappevatn	Romoppvarming totalt
Totalt [kWh]	13 180	14 028	1 147	27 208
Snitt/dag [kWh]	98,4	104,7	8,6	203,0
Høgste verdi per dag [kWh]	150	349	22	489
Lågaste verdi per dag [kWh]	40	0	0	40
Spesifikt forbruk [kWh/m²]	15,8	16,8	1,4	32,7

Frå Tabell 9 kan ein sjå at energibruken til golvvarme (13 180 kWh) og ventilasjonsvarme (14 028 kWh) er omtrent like store, men at det går noko meir energi til ventilasjonsvarme. Energibruken til varmt tappevatn er relativt låg (1 147 kWh) og utgjer berre 4 % av den totale energibruken til oppvarming for bygget. Totalt er det brukt 27 208 kWh til romoppvarming, noko som tilsvarar ein spesifikk energibruk på 32,7 kWh/m².

Den høgste verdien per dag for ventilasjonsvarme (349 kWh) er over dobbelt så høg som for golvvarme (150 kWh), og det er dermed tydeleg at det er høgast effektbehov til ventilasjonsvarme. Samtidig har det ved fleire anledningar vore dagar der det ikkje er brukt energi til ventilasjonsvarme i det heile tatt. Dette skjedde ikkje på vintertid, men skjedde nokon helger utover våren, samt dei fem siste dagane for måleperioden, då det var vesentleg høgare utetemperatur. Det er og blitt logga 0 kWh for varmt tappevatn relativt ofte (35 gongar), noko som er naturleg då bygget ikkje er i bruk i helgene, på heilagdagar og i feriar.

Figur 23 gir vidare ei grafisk framstilling over korleis energibruken til dei ulike oppvarmingspostane varierer i forhold til utetemperaturen kvar veke. Sidan den første og siste veka i året kan vere kortare enn 7 dagar, vil energibruken i desse vekene vere lågt samanlikna med dei resterande vekene. Sidan dette kan gje feil inntrykk av energibruken desse vekene, bereknar EOS-programvara gjennomsnittleg forbruk per dag, og brukar dette til å berekne kva forbruket ville vore dersom veka hadde full lengde. Dette påverkar berre den grafiske visninga på vokesoppløysing, slik som er tilfelle for Figur 23, der veke 1 berre består av søndag 1.1.2017. Ved eksport i tabellform vil dataa vise det faktiske forbruket. (Enoco ITB)



Figur 23 Oversikt over målt utetemperatur og formålsdelt energibruk per veke for gulvvarme, varmt tappevatn og ventilasjonsvarme i perioden 1.1.2017-14.5.2017. (Enoco AS, 2017)

Av Figur 23 ser ein at energibruken til «Ventilasjon vannbåren forbruk» er meir avhengig av utetemperaturen enn «Golvvarme forbruk». I midten av mars ser ein at utetemperaturen overstig 0 °C, men energibruken til golvvarmeanlegget ligg likevel relativt stabilt samanlikna med tidlegare på året då utetemperaturen var opp mot 10 °C lågare. Det er relativt liten nedgang i energibruk for golvvarmeanlegget ut resten av måleperioden, til trass for ein vesentleg auke av utetemperaturen. Her blir energibruken til ventilasjonsvarme markant lågare enn energibruken til golvvarmeanlegget, slik at den utgjer ned mot 10-20 % av energien som går til golvvarmeanlegget. I motsetning til dette går det ved lågare utetemperaturar enkelte veker omtrent dobbelt så mykje energi til ventilasjonsvarme. Hugs at den første veka berre består av ein dag, slik at verdiane er blitt justert og derfor ikkje er representative for faktisk energibruk den veka. «Tappevann forbruk» ligg relativt stabilt, utanom for den første veka (1. nyttårsdag) og påskeveka 2017/04/16, då det ikkje vart brukt noko varmt tappevatn.

5.3.3 Samanlikning av driftsresultat og berekna energibehov

Samanlikning av berekna energibehov og målt energibruk blir ikkje representativt for eit velfungerande anlegg, ettersom dette anlegget framleis ikkje fungerer slik det burde. Det er heller ikkje tilgjengeleg ein fullstendig måleperiode på eit heilt kalenderår, grunna store problem med varmpumpa i 2016. Berekna levert energi vil derfor ikkje bli samanlikna med energibruken til varmpumpa og spisslasta. Formålsdelt energi, dvs. energibruk til romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmt tappevatn burde likevel vere representativt og er derfor presentert i Tabell 10 for måleperioden 1.1.2017-17.5.2017 (dvs. nesten eit halvt år), og samanlikna med det berekna energibehovet som vart lagt til grunn for passivhusevalueringa.

Tabell 10 Samanlikning mellom berekna energibehov og målt energibruk for bygget.

	Berekna energibehov		Målt energibruk*		Avvik [%]
	Totalt [kWh]	Spesifikk [kWh/m ²]	Totalt [kWh]	Spesifikk [kWh/m ²]	
Romoppvarming	16 112	19,3	13 180	15,8	-18,1
Ventilasjonsvarme	5 149	6,2	14 028	16,8	171,0
Varmt tappevatn	8 347	10,0	1 147	1,4	-86

*Målt energibruk er berre for perioden 1.1.2017-17.05.2017, altså mindre enn eit halvt år.

Kravet i NS 3701 for netto oppvarmingsbehov er 31,4 kWh/(m²·år), medan det for dette bygget er berekna 25,5 kWh/(m²·år). For perioden 1.1.2017-17.5.2017 har det blitt brukt 32,6 kWh/(m²), og kravet i NS 3701 er dermed allereie overstige. Det er ikkje uvanleg at energibruken i praksis blir høgare enn berekna, men for dette bygget kan energibruken ende på dobbelt så høg verdi som den skulle då året er omme. Energibruken til golvvarmeanlegget er høgare enn den burde, men det er spesielt energibruken til ventilasjonsvarme som skil seg ut. Målt spesifikk energibruk (16,8 kWh/m²) er allereie 2,7 gongar høgare enn berekna, og kan dermed ende med å vere over 5 gongar høgare enn den skulle etter simuleringa i SIMIEN. Reguleringa og energibruken til ventilasjonsanlegget bør derfor undersøkjast nærmare, som forklart i kapittel 10.2.

Målt energibruk for varmt tappevatn viste seg å vere vesentleg lågare enn berekna, sjølv om måleperioden framleis berre gjeld for i underkant av eit halvt år. Energimålaren for tappevann forbruk inkluderer også berre energien varmpumpa leverer, ikkje energien som blir levert frå den eksterne varmtvassberedaren, noko som kan gje eit feil inntrykk av det reelle forbruket. Energibruken til den eksterne varmtvassberedaren burde derfor vore inkludert i berekningane,

men det er ikkje blitt gjort i denne rapporten, sidan den var utkopla store delar av måleperioden. Dersom den hadde blitt inkludert ville energibruken auka med 15 %, men avviket ville berre blitt endra frå -86 til -84 %. Som vist i Figur 22 er energimålaren i tillegg feilplassert, slik at den måler lågare massestraum enn den burde og vil på grunn av dette vise lågare energibruk, jamfør $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$.

For å sjå litt nærmare på varmfordelinga til golvvarme og ventilasjonsvarme, vart det henta ut eit utsnitt frå EOS-nettsida vist i Figur 24.

Gulvvarme forbruk

Forrige år	18 870 kWh
Forrige måned	2 900 kWh
Forrige uke	310 kWh
Hittil i år	13 510 kWh
Totalt	39 620 kWh

Ventilasjon vannbåren forbruk

Forrige år	39 134 kWh
Forrige måned	1 168 kWh
Forrige uke	0 kWh
Hittil i år	14 028 kWh
Totalt	60 274 kWh

Figur 24 Skjermbilete frå EOS (24.5.2017) med oversikt over forbruk til golvvarme og ventilasjonsvarme.

Basert på totalt energiforbruk kan ein sjå at golvvarmeanlegget berre har brukt omtrent 2/3 av energien som har gått med til ventilasjonsvarme. Dette var ikkje i tråd med den prosjekterte fordelinga, der det skulle gå meir energi til romoppvarming enn til golvvarme. Ved å sjå på forbruket hittil i år, kan ein sjå at dette er i ferd med å jamne seg ut dette året, og dei to postane er omtrent like store, med høvesvis 13 510 kWh og 14 028 kWh for golvvarme og ventilasjonsvarme. Fordelinga kan endre seg seinare på året, og det vil vere lågare energibruk til ventilasjonsvarme på sommaren, for deretter at den blir høgare enn energibruken til golvvarmeanlegget utover hausten, då utetemperaturen blir redusert. I 2016, dvs. «forrige år», gjekk det dobbelt så mykje energi til ventilasjonsvarme som det gjorde til golvvarme.

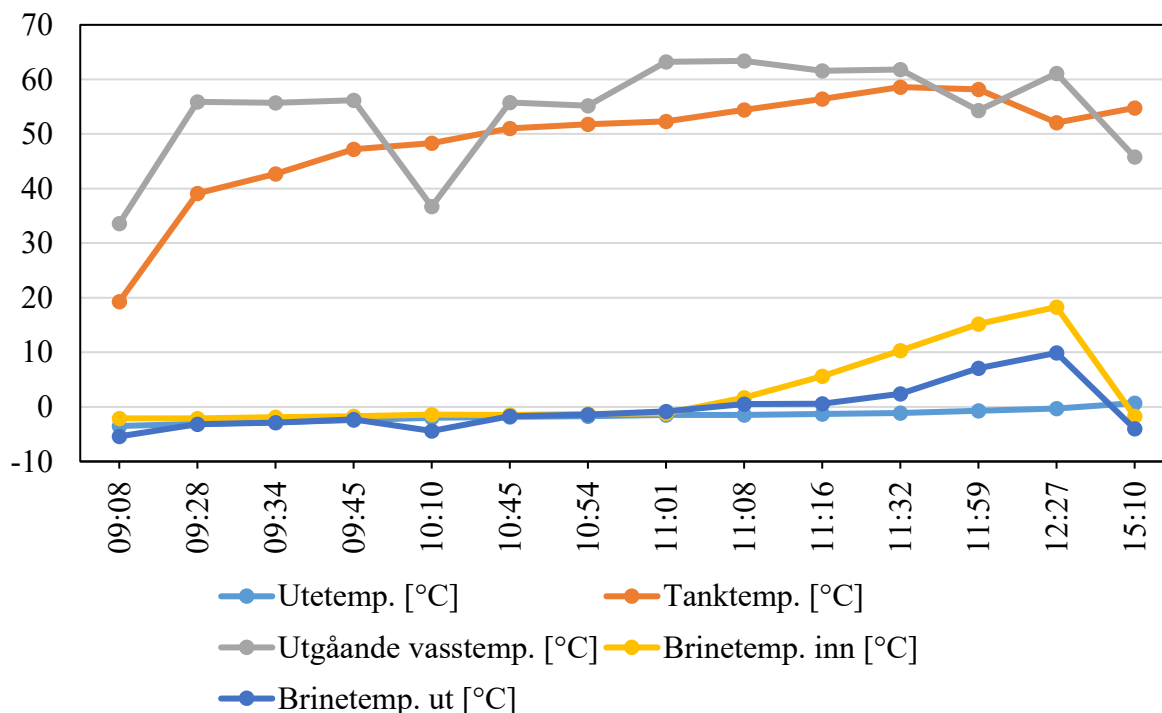
5.4 Målinger frå displayet på varmpumpe

Sidan varmpumpe ikkje kommuniserer med SD-anlegget vart det utført manuelle avlesingar ved synfaringar for å få innblikk i driftsforholda til varmpumpe. Det var først ved synfaringa 4. april (synfaring nummer fire av seks) at det gjennom samtale med Top VVS vart gitt tilgang til avanserte innstillingar («Installer»-modus i staden for «End user») i displayet på varmpumpe. Då vart det tilgjengeleg vesentleg meir informasjon enn det var mogleg å hente ut ved dei første synfaringane.

5.4.1 Momentanverdiar for temperaturnivå og volumstrøm

Det finnast ingen historikk for temperaturnivå og liknande, så data er innhenta gjennom å gjere mange avlesingar i løpet av dagen under synfaringane. I dette delkapittelet blir det presentert måledata frå tre synfaringar, 8. mars, 4. april og 2. mai 2017. Det er ulikt tal på avlesingar, samt uregelmessige tidspunkt og intervall for avlesingane grunna anna arbeid under synfaringane. Det er mykje dynamikk i eit slikt anlegg, og sidan det til tider går lang tid mellom avlesingane kan det ha skjedd mykje i mellomtida. Dette er ein svakheit samanlikna med om det var systematisk logging av temperaturdata gjennom eit SD-anlegg, men det er likevel interessant å sjå variasjonane som førekjem for dei ulike parametrane gjennom ein dag. For sensorplassering, sjå røyrskjema i Vedlegg 2.

Figur 25 viser avlese sensorinformasjon frå synfaring 8. mars. For denne avlesinga var det ikkje avansert tilgang på varmpumpe, så det er avgrensa sensorinformasjon i forhold til dei andre synfaringane. Denne dagen var det svært uvanlege driftsforhold for varmpumpe, og basert på temperaturavlesingar i brinekretsen skrudde varmpumpe seg av for ein lengre periode enn vanleg (ca. kl. 11-13). Det var og mogleg å høyre at varmpumpe slo seg av, samt lese av frå innreguleringsventilane at volumstrømmen i brinekretsen stoppa. I tillegg kunne ein høyre at elkjelen i akkumuleringstanken vart lagt inn fleire gongar under denne perioden, noko ein og kunne observere i SD-programvara.



Figur 25 Avlese sensorinformasjon frå varmpumpe 8.3.2017.

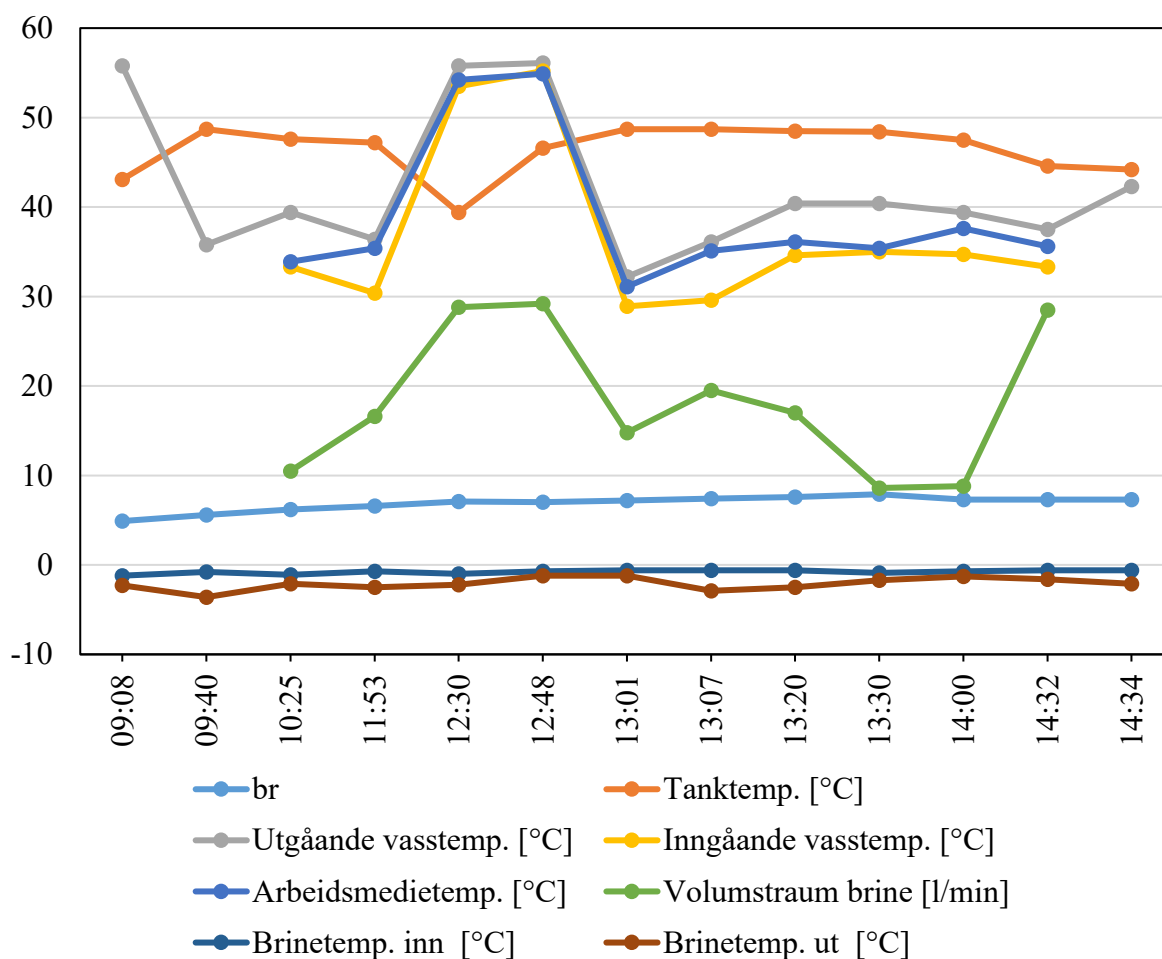
For den første avlesinga (kl. 0908) var utetemperaturen $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ noko som vil føre til eit relativt høgt varmebehov. Det kan vere forklaringa på kvifor både tanktemperaturen og utgåande vasstemperatur var så låge ($19,3$ og $33,6\text{ }^{\circ}\text{C}$). For dei neste avlesingane kan ein sjå at tanktemperaturen auka, noko som betyr at varmpumpa skifta til tappevassmodus. Det ser ut som at den skifta til romoppvarmingsmodus for ein kort periode kl. 10:10, sidan utgåande vasstemperatur droppa til $36,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, men at den skifta tilbake til tappevassmodus før neste målepunkt, sidan både tanktemperaturen og utgåande vasstemperatur haldt fram å auke for dei neste målingane. Sidan temperaturnivåa for utgåande vasstemperatur overstig $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, må dei elektriske elementa i varmpumpa ha kopla inn. Den høge utgåande vasstemperaturen må og ha blitt målt ved at varmt vatn lak over trevegsventilen medan varmpumpa var i tappevassmodus.

Brinetemperaturane er nesten på nivå med utetemperaturen, og er dermed relativt låge. Frå kl. 11:01 til 12:27 steig brinetemperaturane frå $-1,2/-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $18,3/9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette kunne ikkje ha vore tilfelle dersom det var sirkulasjon i kollektorsystemet, og tyder på at det er svært høg varmeoverføring til temperaturfølarane. Desse er plassert inne i varmpumpa og ein raud sirkel på Figur 26 markerer merkelappane på leidningane deira. Det er ikkje funne eksakt plassering for følarane. Varmeoverføringa kan enten komme av at varmen forplantar seg gjennom røyra frå andre komponentar i varmpumpa eller at det blir overført varme til røyra frå lufta inne i varmpumpa. Sidan turrøyret frå brinekretsen (koparrøyret på biletet) ikkje er isolert, er i alle fall sistnemnde årsak tilfelle. Dette er ikkje rekna for å vere noko problem med omsyn på varmeoverføringa, sidan teknisk rom har eit varmeoverskot og held ein stabil temperatur rundt $23-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, men kan gje problem som følgje av kondens. Slike røyr bør alltid isolerast. Dette er ikkje undersøkt vidare i denne rapporten.



Figur 26 Nedre del av varmpumpa etter den er opna. Det er isolert rundt komponentane og ein kan sjå både sirkulasjonspumpa til brinekretsen og ekspansjonstanken.

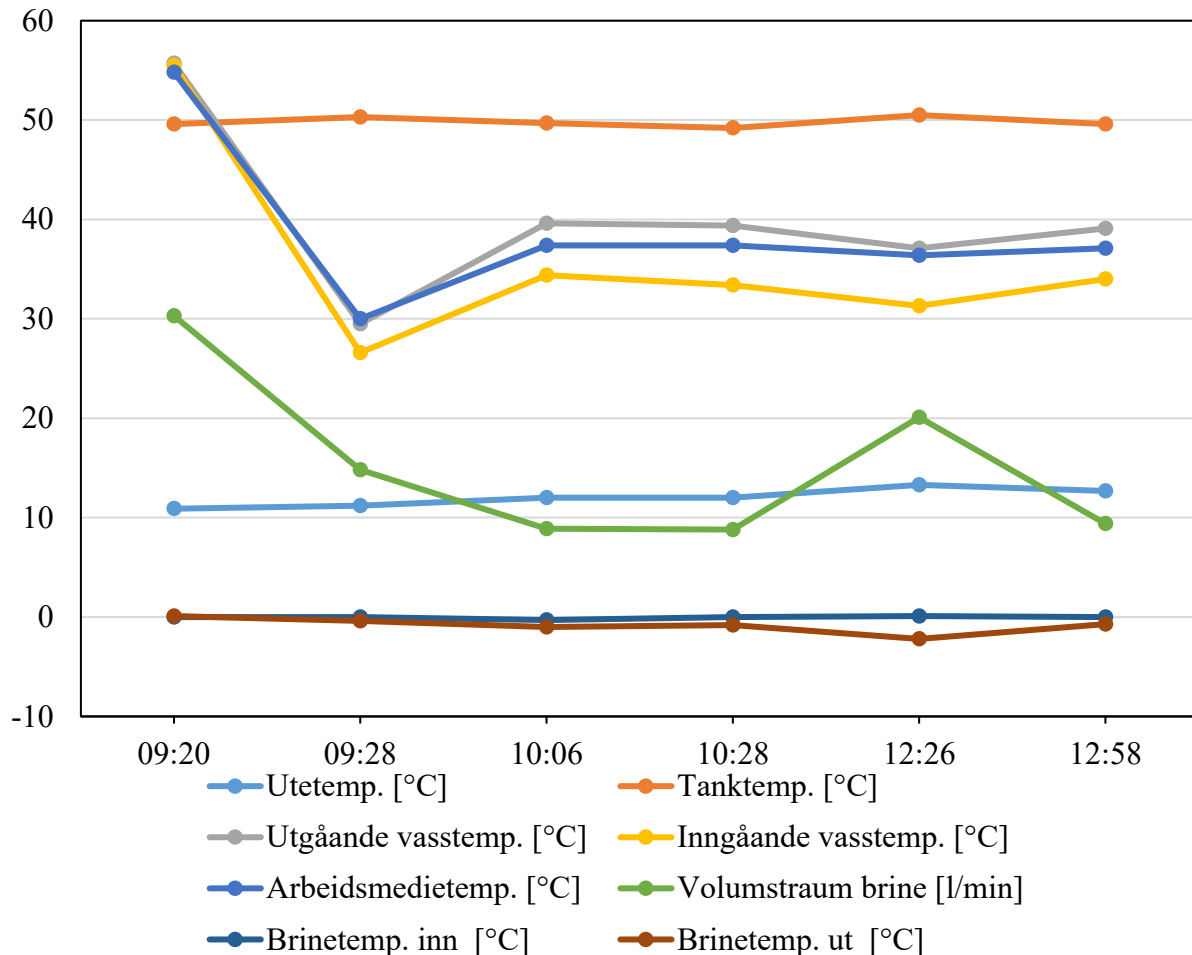
Figur 27 viser avlese sensorinformasjon frå synfaring 4. april, og denne dagen vart det gitt tilgang til avanserte innstillingar på varmpumpa, slik at det var mogleg å lese av meir informasjon. Dette gjeld til dømes volumstraumen i brinekretsen (grøn kurve) som varierer mellom 10,5 til 29,2 L/min. Kl. 12:30 kan ein sjå at denne har auka kraftig (frå 16,6 til 28,8 L/min), og det same har temperaturen for arbeidsmediet, samt inngåande og utgåande vatn frå kondensatoren (høvesvis frå 35,4, 30,4 og 36,4 °C til 54,2, 53,5 og 55,8 °C). Tanktemperaturen droppar for denne målinga men aukar til neste, noko som tyder på at varmpumpa var i tappevassmodus. Sidan temperaturane er så høge kan det vere ein moglegheit for at trinn 1 for dei elektriske elementa har slått inn i tillegg, men dette er ikkje mogleg å seie med sikkerheit. SD-programvara gir berre moglegheit til å overvake elkjelen i akkumuleringstanken (som ikkje var innkopla denne dagen), og dersom denne hadde vore innkopla, så hadde trinn 2 av elkjelen i varmpumpa vore det og.



Figur 27 Avlese sensorinformasjon frå varmpumpa 4.4.2017.

Figur 28 viser avlese sensorinformasjon frå synfaring 2. mai, og denne dagen viser vesentleg meir stabile driftsforhold enn for dei andre synfaringane. Det er verdt å merkje seg at utetemperaturer her ligg i overkant av 10 °C, slik at det også er vesentleg lågare varmebehov. Til trass for ein betrakteleg auke i utetemperatur (frå ca. 0 til over 10 °C, har det vore ein meir moderat auke i brinetemperaturane (frå ca. -2/-4 °C til ca. 0/-2 °C) samanlikna med dei andre synfaringane. Dette skyldast mindre varmeuttak over fleire dagar. Grunna store svingingar, er det vanskeleg å sjå ein tydeleg samanheng mellom volumstrøm og brinetemperaturar. Dette

vil sannsynlegvis bli meir stabilt etter problemet med innreguleringsventilane blir ordna. Denne dagen vart også trevegsventilen som veksler mellom romoppvarming- og tappevassmodus ordna, der det hadde leke over vatn tidlegare. Varmepumpa vart og endra til timeplanbasert tappevassoppvarming, noko som og vil ha vore ein medverkande årsak til dei relativt stabile driftsforholda.



Figur 28 Avlese sensorinformasjon frå varmepumpa 2.5.2017.

5.4.2 Presentasjon av driftsdata for varmepumpa

Ved to anledningar vart det lese av driftsdata for varmepumpa, der det med driftsdata meinast kor mange timar den har brukt på diverse oppgåver. Her var det til ei viss grad logging av data, men historikkfunksjonen var lite brukarvenleg og gav få moglegheiter. Samtidig kom det ut nokon uventa resultat, som ikkje verkar å vere pålitelege. Tabell 11 gir ei oversikt over verdiane som vart lese av ved synfaringane 4. april og 2. mai 2017. Det er berre mogleg å lese av data for førre månad, inneverande månad og totalt. Tabellen er inndelt i høve til undermenyane i displayet på varmepumpa, der ein kan få meir detaljert informasjon for høvesvis kompressor, elkjel trinn 1 og elkjel trinn 2 for vald tidsperiode (førre månad, inneverande månad eller totalt). Øvste del av tabellen korresponderer dermed med verdiane oppgitt som «totalt» i dei nedre delane.

Tabell 11 Driftsdata avlese i displayet på varmpumpa ved synfaringar 4. april og 2. mai 2017.

	Avlese 4. april			Avlese 2. mai		
	Mars	April	Totalt	April	Mai	Totalt
Pumpe [t]	740	106	16458	740	749	17100
Kompressor [t]	711	102	8205	711	715	8817
Elkjel trinn 1 [t]	33	0	3537	33	8	3545
Elkjel trinn 2 [t]	23	0	715	23	6	721
Kompressor						
Romoppvarming [t]	606	87	7723	606	614	-
Tank [t]	105	15	482	105	101	-
Totalt [t]	711	102	8205	711	715	-
Kompressorstart	286	45	8872	286	342	-
Elkjel trinn 1						
Romoppvarming [t]	32	0	3433	32	-	-
Tank [t]	1	0	104	1	-	-
Totalt [t]	33	0	3537	33	-	-
Elkjel trinn 2						
Romoppvarming [t]	22	0	663	22	-	-
Tank [t]	1	0	52	1	-	-
Totalt [t]	23	0	715	23	-	-

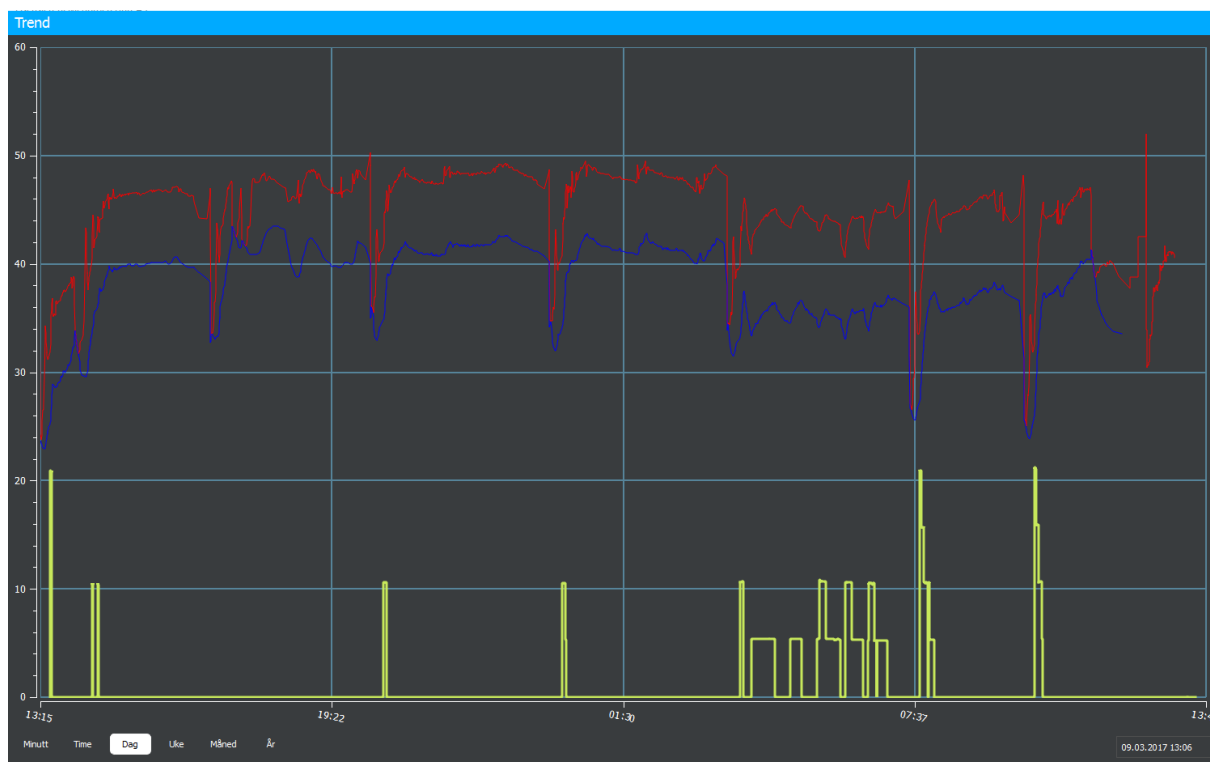
- Ikkje avlese, grunna avgrensa tid til synfaring 2. mai.

Avlesingsmoglegheitene på varmpumpa er svært avgrensa, sidan det berre er mogleg å lese av driftsdata for førre og inneverande månad, samt totalt. Ved avlesinga 2. mai var driftsdataa for april (førre månad) identiske med driftsdataa for mars som var lese av 4. april, noko som ikkje gir meining. Vidare ser måledata for april (lese av 4. april) ut til å berre gjelde den inneverande månaden, noko som ville gitt meining, medan avlesinga 2. mai for mai månad derimot ser ut til å vise akkumulerte driftsdata for mai samt månaden før. Denne inkonsekvente logginga av måledata tyder på at driftsresultata varmpumpa gir ut i displayet ikkje er heilt pålitelege. Det ville vore ein fordel med ytterlegare avlesingar og helst fjernovervaking av varmpumpa for å få eit tydelegare bilete på kva varmpumpa loggfører.

Avlesinga 4. april er vald som utgangspunkt for å trekkje fram og diskutere verdiar frå Tabell 11. Talet på kompressorstart er alarmerande høgt (286 i mars og 8 872 totalt) noko som sjølv med mjukstart vil føre til vesentleg slitasje av kompressoren. For mars vil dei 286 kompressorstarta svare til eit gjennomsnitt på 9,2 kompressorstart kvar dag. Kompressoren var likevel i drift i 711 av månadens 744 timar, så den slo seg ikkje av grunna manglande varmebehov. Det er ikkje heilt klart kvifor det er så mange kompressorstart, men det verkar å ha samband med då varmpumpa skiftar mellom romoppvarming- og tappevassmodus. Av temperatursvingingane i varmesystemet kan ein sjå at det heller ikkje skjer kvar gong den skiftar modus. Ein er avhengig av å kunne overvake varmpumpa for å komme til ein eintydig konklusjon.

Totalt var det 8 872 kompressorstart, noko som er høgare enn talet på driftstimar for kompressoren (8 205 timar). Kompressoren har altså sidan oppstarten starta oftare enn ein gong for kvar time den har vore i drift. Dette var ikkje tilfelle for mars, der kompressoren var i drift 711 timar mot 286 kompressorstart, noko som tyder på at det har vore fleire kompressorstart tidlegare. Det er uvisst nøyaktig kva dato varmepumpa kom i drift (ca. våren 2015), og den har i tillegg vore ute av drift i periodar i 2016 grunna problem med ureinheitar i brinekretsen. Dersom ein antar at 1. august 2015 var oppstartsdagen og at varmepumpa har vore i drift kvar dag fram til 5. april 2017, vil det i gjennomsnitt ha vore 14,5 kompressorstart/dag, noko som er endå høgare enn gjennomsnittet for kompressorstart i mars.

I løpet av mars var elkjel trinn 1 og 2 i drift i høvesvis 33 og 23 timar. Det vil seie at då elkjelen først kopla inn, så var den inne med trinn 2 over 2/3 av tida. Grunna parallellkoplinga mellom trinn 2 og den større elkjelen i akkumuleringstanken, vil også sistnemnde elkjel ha blitt kopla inn under denne perioden, men med avgrensa effekt og for kortare tidsintervall grunna maksimalvoktaren som vart montert 11. mars. Begge trinna viser berre 1 time drift i samband med tanken (dvs. tappevassoppvarming), så mesteparten av tida har dei slått inn medan varmepumpa har vore i romoppvarmingsmodus. Årsaka til dette verkar å ha samanheng med lågt temperaturnivå i akkumuleringstanken etter at varmepumpa har vore i tappevassmodus samtidig som det er høgt romoppvarmingsbehov. Figur 29 viser eit typisk døgn i mars (før maksimalvoktaren vart montert), der elkjelen i akkumuleringstanken slo inn i samband med temperatursvingingane i varmesystemet. Elkjelen slo typisk inn 15-20 min etter turtemperaturen frå varmepumpa droppa, noko som skjedde då den skifta frå tappevassmodus til romoppvarmingsmodus. Effekten den slo inn med var anten 5, 10, 15 eller 20 kW.



Figur 29 Skjermbilete frå SD-programvara (9.3.2017) som viser innslag av elkjel i høve til temperatursvingingane i varmesystemet. Tur- og returtemperaturar for varmepumpa er vist med raud og blå kurve, medan innkopling av elkjel i akkumuleringstanken er vist med gul kurve.

Totalt har trinn 1 og 2 av elkjelen i varmepumpa vore innkopla høvesvis 3 537 og 715 timar. I forhold til trinn 1 kopla altså trinn 2 inn ekstra mykje i mars (2/3 av tida), samanlikna med kor lenge den har vore inne totalt (1/5 av tida). Det var altså eit høgare effektbehov for spisslasta i mars enn det har vore elles sidan oppstarten. Vidare har det første trinnet brukt 3 433 timar i romoppvarmingsmodus og 104 timar i tappevassmodus, medan det andre trinnet har brukt 663 timar i romoppvarmingsmodus og 52 timar i tappevassmodus. Trinn 2 har dermed brukt halvparten så mykje tid i tappevassmodus som trinn 1, medan den berre har brukt omtrent 1/5 av tida på romoppvarming. Det betyr at trinn 1 plar vere tilstrekkeleg då varmepumpa treng spisslast til romoppvarming, medan det ofte trengs begge trinna for å dekke behovet varmepumpa ikkje greier levere for tappevassoppvarming. Sannsynlegvis er ein stor del av energibruken i tappevassmodus knytt til legionellasikringsfunksjonen, som krevjar eit høgare temperaturløft (vasstemperatur til 60 °C) enn ved normal tappevassoppvarming (vasstemperatur til 50 °C).

6 Analyse av varmesystemet

I dette kapitlet blir det ein gjennomgang av feil som er funne i varmesystemet, korleis dei har verka inn på drifta av anlegget, samt generell analyse av varmesystemet. Analysen er basert på foreløpig analyse av måledata og synfaringar. Det vil til ein viss grad vere samanheng mellom problema med anlegget, men for å få til ein oversiktleg framstilling er dei inndelt i ulike delkapittel og vurdert kvar for seg.

6.1 Temperatursvingingar i varmesystemet

Etter det vart mogleggjort logging av temperaturnivå frå dei termiske energimålarane i SD-programvara, vart det oppdaga hyppige temperatursvingingar i varmesystemet. Det var tydeleg at varmpumpa ikkje hadde stabile arbeidsforhold. Turtemperaturen til varmpumpa auka over ei viss tid, for plutselig å raskt falle vesentleg i temperatur, som regel slik at den vart lik returtemperaturen til varmpumpa. Figur 30 viser eit skjermbilete frå SD-programvara frå eit døgn der det var 10 slike tilfelle.



Figur 30 Skjermbilete frå SD-programvara 8.3.2017. Grøn kurve viser turtemperatur frå varmpumpa, medan gul kurve viser returtemperatur.

Feilsøkinga vart vanskeleggjort av at det verken var mogleg å overvake varmpumpa eller sirkulasjonen i varmesystemet. Ved avlesing på displayet til varmpumpa vart det ved synfaringar oppdaga at talet på kompressorstart var uforholdsmessig høgt, med 286 start i mars og nesten 9000 totalt sidan varmpumpa vart montert for to år sidan. I byrjinga vart det derfor spekulert i om varmpumpa auka varmeytinga for deretter å slå seg av, men det vart oppdaga relativt raskt at fallet i turtemperaturen skjedde då sirkulasjonen mellom varmpumpa og akkumuleringstanken starta igjen.

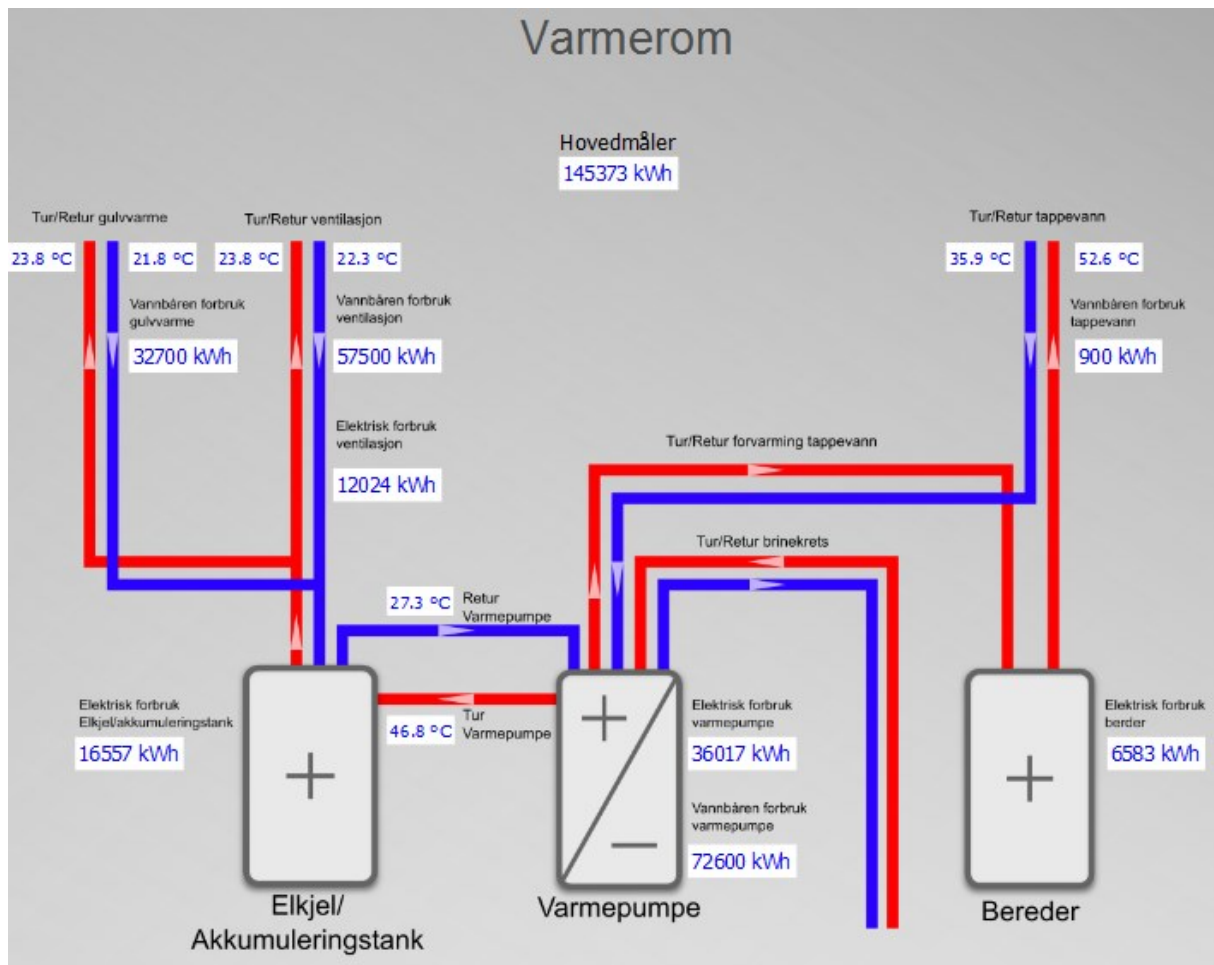
Det var mange ulike teoriar rundt kva temperatursvingingane kom av. Den første var at kollektorslangane vart påverka av flo og fjære, men denne vart raskt avkrefta då temperatursvingingane skjedde oftare enn og på andre tidspunkt enn vasstandsendingane. Under feilsøkinga har fokuset vore retta mot utforminga av akkumuleringstanken og regulering av elkjelen der, samt regulering av både varmpumpe, golvvarmeanlegget, ventilasjonsanlegget og pumpene i varmesystemet. Det er mykje dynamikk i eit slikt anlegg, og det var vanskeleg å få fullstendig innsikt i reguleringa sidan det berre var tilgang på energibruk og temperaturnivå i varmesystemet.

Etter kvart vart det oppdaga at temperatursvingingane hovudsakleg skyldast at varmpumpe vekslar mellom romoppvarmingsmodus og tappevassmodus. Dette skjedde svært ofte, typisk åtte-ni gongar om dagen, og då var varmpumpe borte frå romoppvarmingsmodus over lengre periodar. Dette skjedde uavhengig av romoppvarmingsbehovet, og energien i akkumuleringstanken var ikkje tilstrekkeleg til å dekke dette behovet. Ei slik regulering av varmpumpe er ikkje hensiktsmessig for dette anlegget, då romoppvarmingsbehovet er vesentleg høgare enn behovet for varmt tappevatn.

I tillegg viste det seg at vekselventilen som styrer om varmpumpe er i romoppvarmingsmodus eller tappevassmodus mangla ein skrue (ventilen var faktisk stripsa fast, slik at nokon var klar over problemet ved montering), slik at det lak over varmt vatn mot akkumuleringstanken då varmpumpe stod i tappevassmodus. Dette har ikkje nødvendigvis spesielt stor innverknad på energisparinga og reguleringa til varmpumpe, men det førte til at temperaturfølarer for energimålaren «Varmepumpe produksjon» registrerte ein temperaturauke som verka alarmerande. Problemet vart ordna ved å sette i ein ny skrue 2.5.2017.

Tappevassmodusen «Reheat» gir dårlege driftsforhold i forhold til romoppvarmingsbehovet, sidan denne gjer at varmpumpe går i tappevassmodus til uregelmessige tider, og dermed kan krasje med tider då romoppvarmingsbehovet er på sitt største. I tillegg har temperatursvingingane ført til at elkjelen i akkumuleringstanken har slått inn med høg effekt, som vist på Figur 29 i kapittel 5.4.2. Elkjelen slo typisk inn 15-20 min etter fallet i turtemperatur, sidan varmpumpe har ein tidsavgrensing før den tillèt at dei elektriske elementa i varmpumpe slår inn. Som nemnd tidlegare slår elkjelen i akkumuleringstanken inn i parallell med trinn 2 i varmpumpe, noko som også er ei dårleg form for regulering. Regulering av elkjelen i akkumuleringstanken og tappevassoppvarminga vil bli ytterlegare skildra i høvesvis kapittel 6.3 og 6.4. Vidare i dette kapittelet vil det bli presentert skjermbilete som viser ulike parametarar og innverknaden desse temperatursvingingane hadde på varmesystemet.

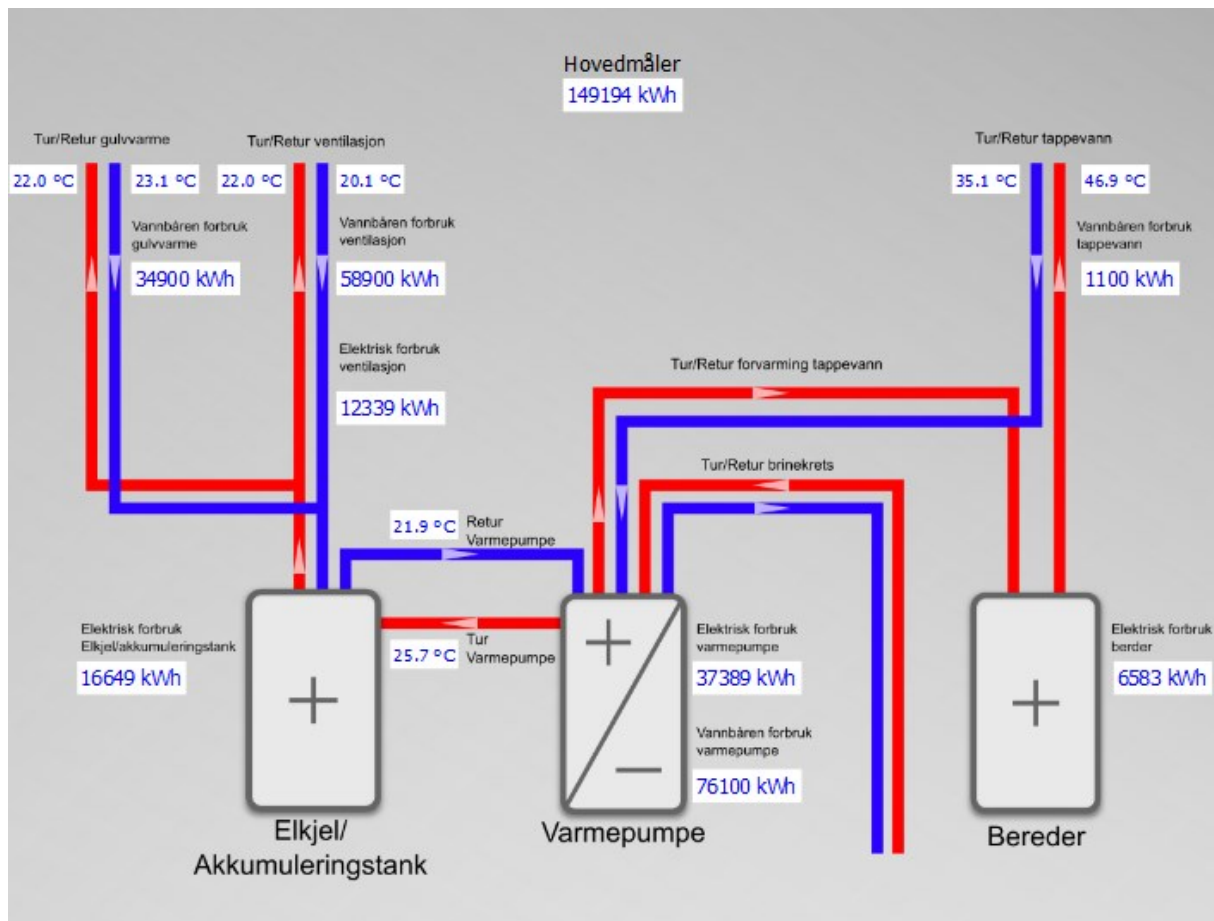
Figur 31 viser eit skjermbilete frå SD-programvara der varmpumpe er i tappevassmodus. Dette kan ein sjå som følgje av den høge turtemperaturen frå varmpumpe (46,8 °C) og ved at returtemperaturen (27,3 °C) er langt ifrå temperaturdifferansen varmpumpe skal halde på 6 °C. Dette kjem av at det lek varmt vatn over trevegsventilen frå varmpumpe, slik at turtemperaturen viser temperaturar opp mot 50 °C. I romoppvarmingsmodus blir varmpumpe styrt etter ein utetemperatur-kompenseringskurve, slik at maksimal utgåande vasstemperatur i romoppvarmingsmodus skal vere 45 °C ved utetemperaturar lågare enn -10 °C (og ikkje høgare som på skjermbilete). Denne dagen var utetemperaturen målt til -3,8 °C, så det var eit relativt stort romoppvarmingsbehov.



Figur 31 Skjermbilete frå SD-programvara 8.3.2017 kl. 11:00. Varmepumpa er i tappevassmodus og akkumuleringstanken er tømt for varmt vatn.

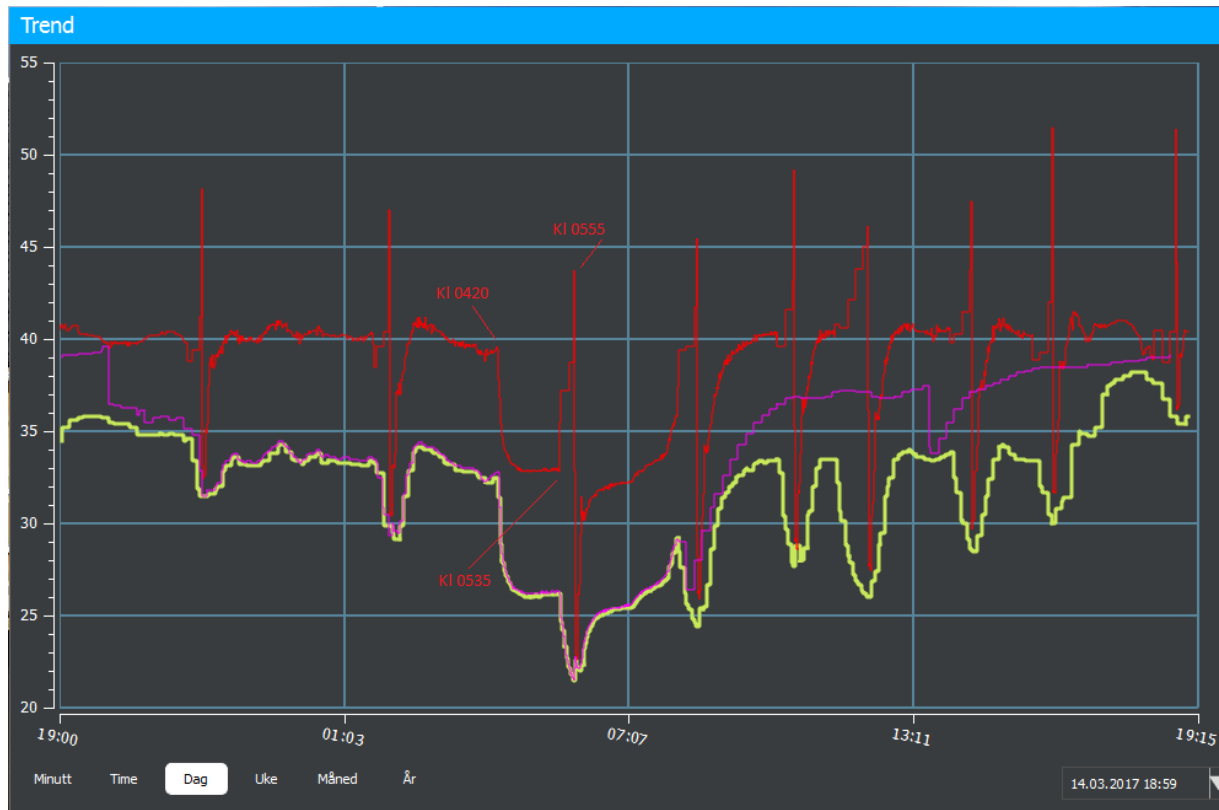
Sirkulasjonspumpene til gulvvarmeanlegget og varmebatteriet i ventilasjonsanlegget held fram med å gå uavhengig av om varmpumpa leverer varme til akkumuleringstanken eller ikkje. Under desse periodane vil dermed temperaturen i akkumuleringstanken bli redusert, og det blir levert vatn ved lågare temperatur til varmeanlegget. Turtemperaturane til gulvvarmeanlegget og varmebatteriet ligg begge på 23,8 °C for skjermbiletet i Figur 31, medan returtemperaturane er høvesvis 21,8 og 22,3 °C. Det er dermed tydeleg at dei har tappa akkumuleringstanken for varme i denne perioden.

Figur 32 viser eit skjermbilete frå rett etter varmpumpa har skifta tilbake frå tappevassmodus til romoppvarmingsmodus. Då sirkulasjonen mellom varmpumpa og akkumuleringstanken starta igjen etter ein slik periode, vil den mindre varmemengda som har leke over trevegsventilen raskt blande seg ut, og turtemperaturen vil falle til temperaturar på 20-35 °C, avhengig av temperaturnivået i akkumuleringstanken. Dette er igjen avhengig av romoppvarmingsbehovet i perioden varmpumpa har vore i tappevassmodus, samt behovet for varmt tappevatn, som avgjer kor lenge varmpumpa er borte i tappevassmodus.



Figur 32 Skjermbilete frå SD-programvara 30.3.2017 kl. 09:30. Varmepumpa har akkurat skifta frå tappevassmodus til romoppvarmingsmodus.

Figur 33 viser samanhengen mellom turtemperaturane i varmesystemet, det vil seie frå varmpumpe til akkumuleringstanken og frå akkumuleringstanken til golvvarme og ventilasjonsvarme. Dette døgnnet var det ni tilfelle av temperatursvingingane, altså at varmpumpe skifta mellom romoppvarmingsmodus og tappevassmodus. Det er tydeleg at turtemperaturane til golvvarmeanlegget og varmbatteriet følgjer temperatursvingingane til turtemperaturen mellom varmpumpe og akkumuleringstanken. Desse blir raskt redusert i forkant av temperaturfalla til turtemperaturen frå varmpumpe, som følgje av at den sluttar å levere varmt vatn til akkumuleringstanken. Vidare aukar turtemperaturane til varmesystemet i takt, då varmpumpe har skifta tilbake til romoppvarmingsmodus. Slik varmesystemet er utforma, blir det i utgangspunktet levert same temperaturnivå til golvvarmeanlegget som varmbatteriet, til trass for ulike temperaturkrav. For dei periodane der turtemperaturen til ventilasjonsvarme er høgare enn turtemperaturen til golvvarmeanlegget, så skjer dette på grunn av at pådraget til varmbatteriet til tider er 0 %, slik at det ikkje er sirkulasjon frå akkumuleringstanken til varmbatteriet.



Figur 33 Skjermbilete frå SD-programvara for eit døgn (14.3.2017), som viser samanhengen mellom turtemperaturane i varmesystemet. Raud kurve er turtemperatur frå varmepumpa, medan rosa og gul kurve gjeld høvesvis til varmebatteriet og golvvarmeanlegget.

6.2 Temperaturnivå i varmesystemet

I dette delkapittelet blir det presentert eksporterte temperaturdata frå SD-programvara for måleperioden 02.03.2017-11.05.2017. Desse temperaturnivåa er ikkje heilt representative for drifta av anlegget då dei hittil berre har vore tilgjengeleg for ein kort periode, men kan likevel gje eit bilete på driftsforhalda til anlegget. Merk at perioden ikkje dekker verken dei typisk kaldaste eller varmaste periodane på året. Det vil og ha hatt innverknad at varmepumpa ikkje har blitt regulert etter utetemperatur-kompenseringskurven i denne perioden, pga. feilsøkinga angående temperatursvingingane. Det er heller ikkje tilgjengeleg måledata for volumstraumen i anlegget, så det kan i periodar ha vore stillestående vatn ved temperaturfølarane som gir feil inntrykk av varmesystemet. Ei oversikt over temperaturdata er presentert i Tabell 12.

Tabell 12 *Temperaturnivå i varmesystemet i perioden 02.03.2017-11.05.2017, gjennomsnittlige, høyeste og lågaste verdier.*

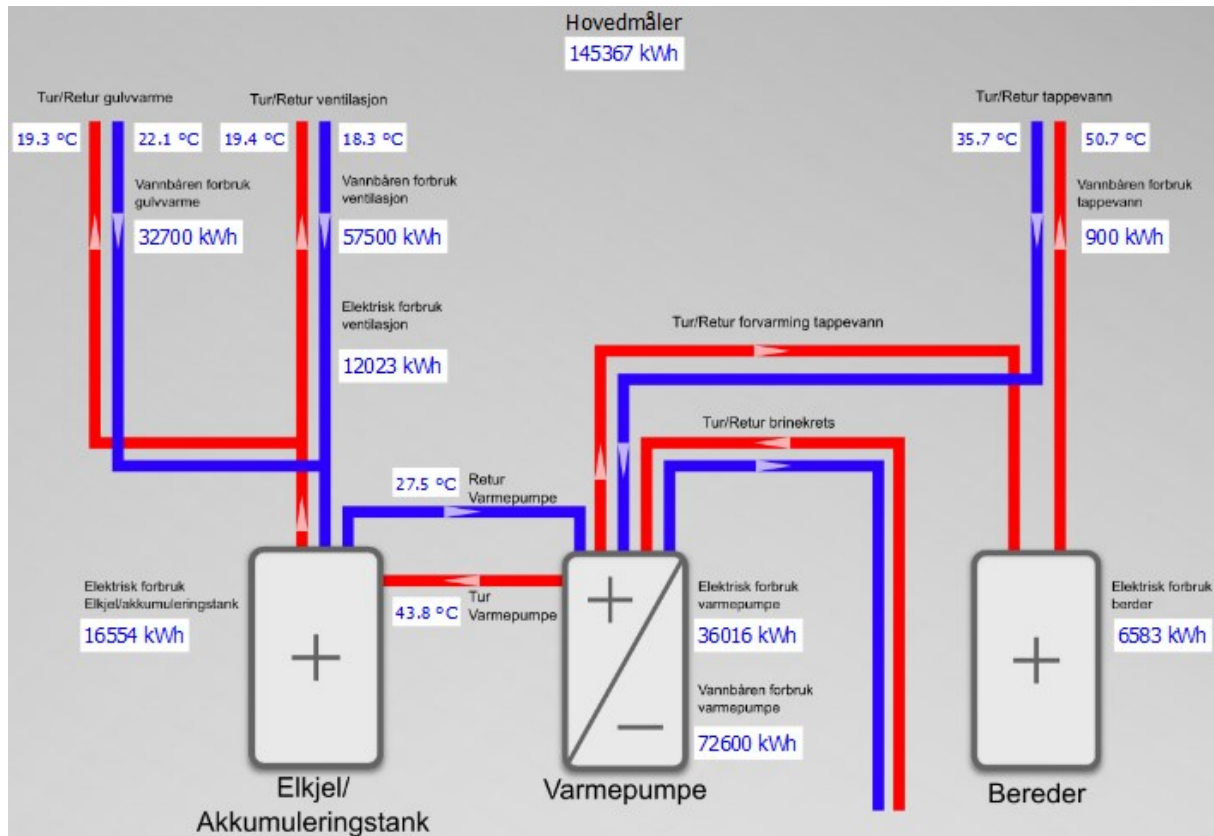
	Gjennomsnittleg verdi [°C]	Høyeste verdi [°C]	Lågaste verdi [°C]
Frå varmepumpa til akkumuleringstanken			
Tur	38,9	50,5	30,0
retur	32,8	42,0	21,6
Frå akkumuleringstanken til varmebatteriet			
Tur	34,0	41,7	21,9
retur	22,5	28,5	15,7
Frå akkumuleringstanken til golvvarmeanlegget			
Tur	32,2	41,6	21,3
retur	25,9	32,2	18,9
Innkommende byvatn og tappevatn ut frå varmepumpa			
Tur	47,9	59,8	15,0
retur	33,2	39,2	7,4

Temperaturnivåa frå varmepumpa til akkumuleringstanken ligg i gjennomsnitt på 38,9/32,8 °C. Varmepumpa har i denne perioden blitt regulert ut frå at det skal vere 40 °C utgåande vasstemperatur og temperaturdifferanse til retur på 6 °C (dvs. 40/34 °C). Lekkasje frå trevegsventilen forklarar at turtemperaturen er blitt målt så høg som 50,5 °C, då vatn frå tappevassoppvarminga har ein høgare temperatur (vanlegvis 50 °C, samt opp mot 60 °C under legionellasikring) enn vatnet som går til romoppvarming (maks 45 °C ifølgje utetemperaturkompenseringskurven). Dei lågaste temperaturnivåa på 30,0 °C og 21,6 °C for høvesvis tur og retur, har sannsynlegvis blitt målt då varmepumpa var i tappevassmodus samtidig som romoppvarmingsbehovet var høgt. Det vil seie rett etter at varmepumpa skifta tilbake til romoppvarmingsmodus og sirkulasjonen i desse røyra starta igjen. Sirkulasjonspumpene til golvvarmeanlegget og varmebatteriet held fram å gå uavhengig av om varmepumpa leverer varme til akkumulatortanken eller ikkje. Då vil temperaturen i akkumulatortanken bli redusert, og det blir levert vatn ved lågare temperatur til golvvarme og ventilasjonsvarme.

Turrøyra til golvvarmeanlegget og varmebatteriet delar seg berre i ein forgreining etter akkumuleringstanken, så det er ingenting som skil kva temperaturnivå som går til kva anlegg, til trass for at varmebatteriet er dimensjonert for 45/35 °C og golvvarmeanlegget er dimensjonert for 35/30 °C. Det einaste som skil dei er effektbehova og temperaturdifferansen til returtemperaturen. Turtemperaturane for golvvarmeanlegget og varmebatteriet har i gjennomsnitt vore høvesvis 32,2 °C og 34,0 °C, medan gjennomsnittleg temperaturdifferanse har vore 6,3 °C og 11,5 °C. Gjennomsnittsverdiane for turtemperaturane vil naturlegvis vere lågare enn ved dimensjonerande forhold, då varmepumpa hadde fast utgåande vasstemperatur på 40 °C i måleperioden, samt at det var høgare utetemperatur enn ved dimensjonerande forhold og bygget dermed hadde lågare varmetap.

Dei lågaste turtemperaturane som er målt til høvesvis varmebatteriet og golvvarmeanlegget er 21,9 °C og 21,3 °C. Då varmepumpa er i tappevassmodus samtidig som det er høgt romoppvarmingsbehov er ikkje dette uvanleg, då akkumuleringstanken ikkje kan dekke heile varmebehovet i denne perioden. Temperaturnivået i akkumuleringstanken vil då bli gradvis redusert etter kvart som det blir henta energi til golvvarme og ventilasjonsvarme. Til tider er

det blitt oppdaga at turtemperaturen er høgare enn returtemperaturen til golvvarmeanlegget, til dømes slik at tur-/returtemperatur er 19,3 og 22,1 °C, som vist på Figur 34. Det er som tidlegare nemnd ikkje tilgjengeleg data om sirkulasjonen i varmeanlegget, noko som ville vore svært nyttig til å vurdere kva som skjer i desse situasjonane. Sidan sirkulasjonspumpene blir regulert slik at dei aukar pumpekrafta ved redusert trykk og temperatur og samtidig sirkulerer den mengda dei har bruk for i forhold til opne magnetventilar i golvvarmekursane, så er det antatt at det i slike tilfelle har blitt overført varme frå golvvarmeanlegget til akkumuleringstanken. Dette er svært uheldig og skal ikkje førekomme, men kan bli unngått ved betre regulering av varmepumpa, der den ikkje går i tappevassmodus då varmebehovet er på sitt høgaste.



Figur 34 Sjermbilete av varmesystemet i SD-anlegg 8.3.2017 kl. 10:50. Turtemperaturen til golvvarmeanlegget (19,3 °C) er høgare enn returtemperaturen (22,1 °C).

Det som skil seg mest ut med tappevasstemperaturane er at returtemperaturen i gjennomsnitt er 33,2 °C og den høgste returtemperaturen er målt til 39,2 °C. Dette kjem av at varmt vatn frå resirkulasjonsleidningen for varmt tappevatn blir blanda med det kalde byvatnet i forkant av temperaturfølarer, som vist i Figur 4. Dersom det ikkje nyttast varmt tappevatn vil det og vere stillestående vatn i røyra, der det over tid kan førekomme varmeoverføring frå varmtvassstanken i varmepumpa mot temperaturfølarer.

Varmepumpa har vore innstilt på å levere varmt tappevatn ved 50 °C, utanom under ein kort periode i mai, då det var forsøkt nokon andre innstillingar for å betre driftsforholda for varmepumpa. I perioden 2-5. mai skulle varmepumpa auke tanktemperaturen til 60 °C ein gong dagleg (utanom i helgene då det var 45 °C), medan den i perioden 5-10. mai skulle auke tanktemperaturen til 55 °C på det høgste. Når den eksterne varmtvassberedaren er innkopla, vil

det kunne leverast høgare turtemperaturar for varmt tappevatn. Det vil i så fall ikkje komme fram i SD-anlegget sidan temperaturfølarane er plassert i tilknytning til varmpumpa.

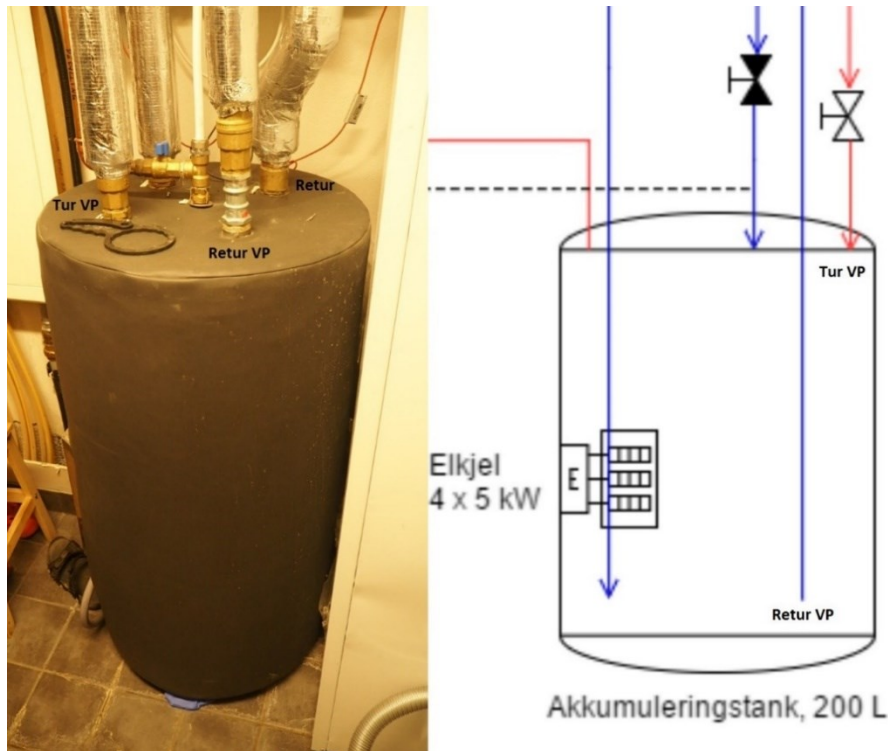
Den høgste turtemperaturen for varmt tappevatn vart målt 3. mai kl. 08:00 til 59,8 °C. Det vart også målt temperaturar opp mot 60 °C ved andre anledningar i samband med legionellasikringsfunksjonen, der varmpumpa aukar tanktemperaturen til 60 °C. Den lågaste turtemperaturen for varmt tappevatn vart målt 5. mai kl. 14:00 til 15,0 °C. Utanom perioden 2-10. mai vart den lågaste turtemperaturen ikkje målt til temperaturar under 37,2 °C. Det var ved 60 tilfelle (dvs. 60 timar) målt temperaturar under 37,2 °C i perioden 2-10. mai, og då merka brukarane av bygget at det var for lite varmtvatn. Det vart altså ikkje vald ideelle innstillingar for tappevassoppvarminga og dette vil bli utdjupa i kapittel 6.4.

6.3 Utforming av akkumuleringstank og regulering av spisslast

6.3.1 Utforming av akkumuleringstank

Sidan varmpumpa har veksventil for prioritert tappevassoppvarming, er ein avhengig av å ha ein akkumuleringstank for å levere energi til golvvarme og ventilasjonsvarme i periodane varmpumpa er i tappevassmodus. Energibruken til golvvarmeanlegget er relativt stabilt, medan energibruken til varmebatteriet varierer mykje og var på sitt største (hittil i 2017) over dobbelt så stort (349 kWh/dag) som det største energibehovet til golvvarmeanlegget (150 kWh/dag). Dette tilsvarar eit gjennomsnittleg effektbehov per time på 14,5 kW, noko som er meir enn varmpumpa kan levere. Det vil dermed vere gunstig å ha ein buffer for å minimere bruken av spisslast. Akkumuleringstanken kan i tillegg vere nyttig for dei periodane der varmebehovet til bygget er lågare enn den minste effekten varmpumpa kan levere. Utforminga av denne akkumuleringstanken har likevel vist seg å ikkje vere ideell for dette varmeanlegget.

Som tidlegare nemnd er akkumuleringstanken spesiallaga, og sidan det ikkje finnast noko datablad var det vanskeleg å få fullstendig innsikt i eksakt utforming og regulering. Figur 35 viser utforminga til tanken, både bilete og utsnitt frå prinsippskissa. Prinsippskissa gir ikkje eit heilt rett bilete på røyrkoplingane, og vart utforma slik for at skissa skulle verte meir oversiktleg. På biletet til venstre kan ein sjå at turrøyra frå varmpumpa og til golvvarmeanlegget/varmebatteriet (som går til toppen av tanken) er plassert på venstre side av tanken, på same sida som dei elektriske elementa er kopla inn. Returrøyra er på høgre sida, og går frå botn av tanken.



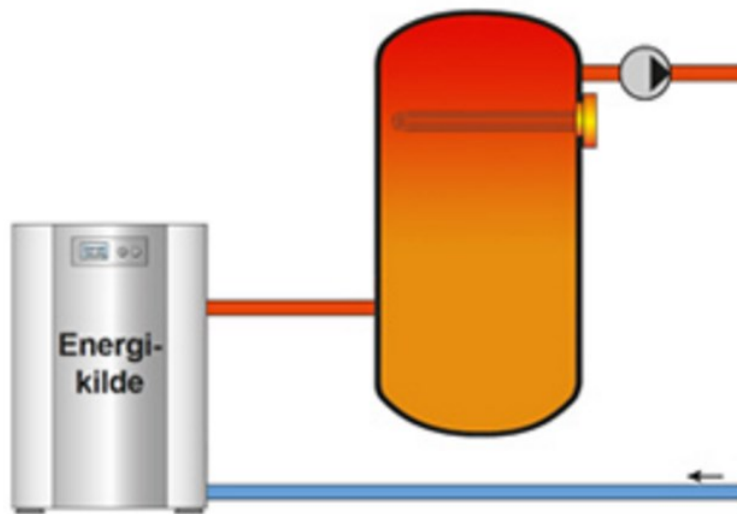
Figur 35 Bilete av akkumuleringstanken til venstre og utsnitt av prinsippskissa til høgre.

Dei elektriske elementa (4 x 5 kW) er plassert i nedre del av tanken, og vil dermed kunne varme opp returvatnet til varmepumpa, noko som er svært uheldig. Når elkjelen varmar returvatnet, får varmepumpa høgare inngåande vassstemperatur slik at turtemperaturen aukar. Dette fører til at varmepumpa må arbeide med unødvendig høg kondenseringstemperatur og COP avtek. Det er turvatnet vidare til golvvarmeanlegget og varmebatteriet som skal varmast opp, slik at elkjelen fungerer som spisslast når varmepumpa på full kapasitet ikkje klarar å varme opp til ønska settpunkt. Elkjelen burde derfor vore plassert så høgt som mogleg i tanken, i tilknytning til turrøyret til golvvarme/varmebatteri.

Det er viktig at temperaturen varmepumpa leverer til akkumuleringstanken ikkje er høgare enn det varmesystemet treng. Energisparinga blir redusert med 2-3 % for kvar grad varmepumpa hevar temperaturen unødvendig høgt. (VVS-kunnskap, 2017) Sidan golvvarmeanlegget og varmebatteriet har ulike temperaturkrav og utetemperatur-kompenseringskurven må styrast etter temperaturkravet til varmebatteriet (som er høgast), så er dette til tider dessverre ikkje mogleg å unngå for dette anlegget, då det ikkje alltid leverast varme til varmebatteriet.

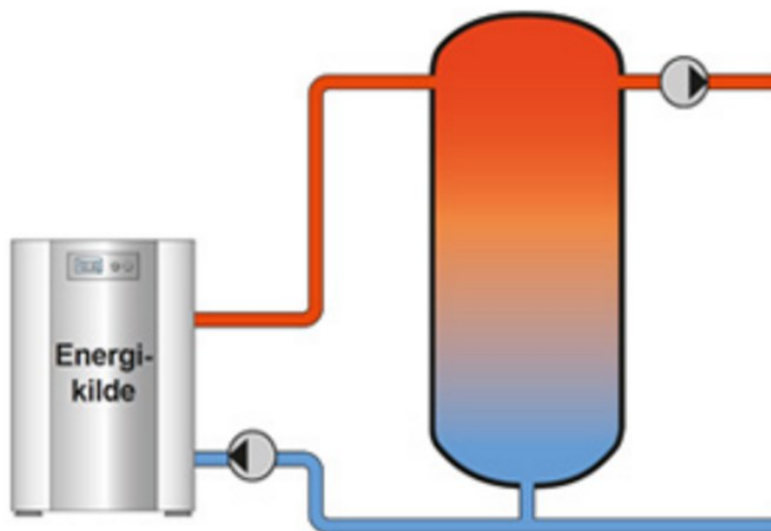
I utgangspunktet finnast det to metodar for tilkopling av akkumuleringstank i varmesystemet; i serie eller i parallell. Figur 36 viser den aktuelle metoden for seriekopling av akkumuleringstank med elektrisk varmeelement som spisslast. For anlegg utan spisslast i akkumuleringstanken anbefalast det at tanken koplant på returrøyret til varmepumpa for å redusere varmetapet og få raskare respons ved start. For seriekopla akkumuleringstankar trengs det berre ei sirkulasjonspumpe og det er ingen fare for blanding av tur- og returvatn, noko som er ein fordel. Denne koplinga er likevel minst brukt, sidan den er avhengig av full sirkulasjon gjennom varmeanlegget. Dermed kan ikkje varmeavgjevarane mengderegulerast, slik som det blir gjort med aktuatorar (magnetventilar) for golvvarmeanlegget på dette anlegget. Eit alternativ er å bruke ein bypass som opnar når kursar stenger, men sidan varmt turvatn då vil blandast inn og

heve returtemperaturen vil dette gje ein lågare besparing og er dermed ein ugunstig løysing. Det er dermed parallellkopling av akkumuleringstank som er aktuelt for dette anlegget. (VVS-kunnskap, 2017)



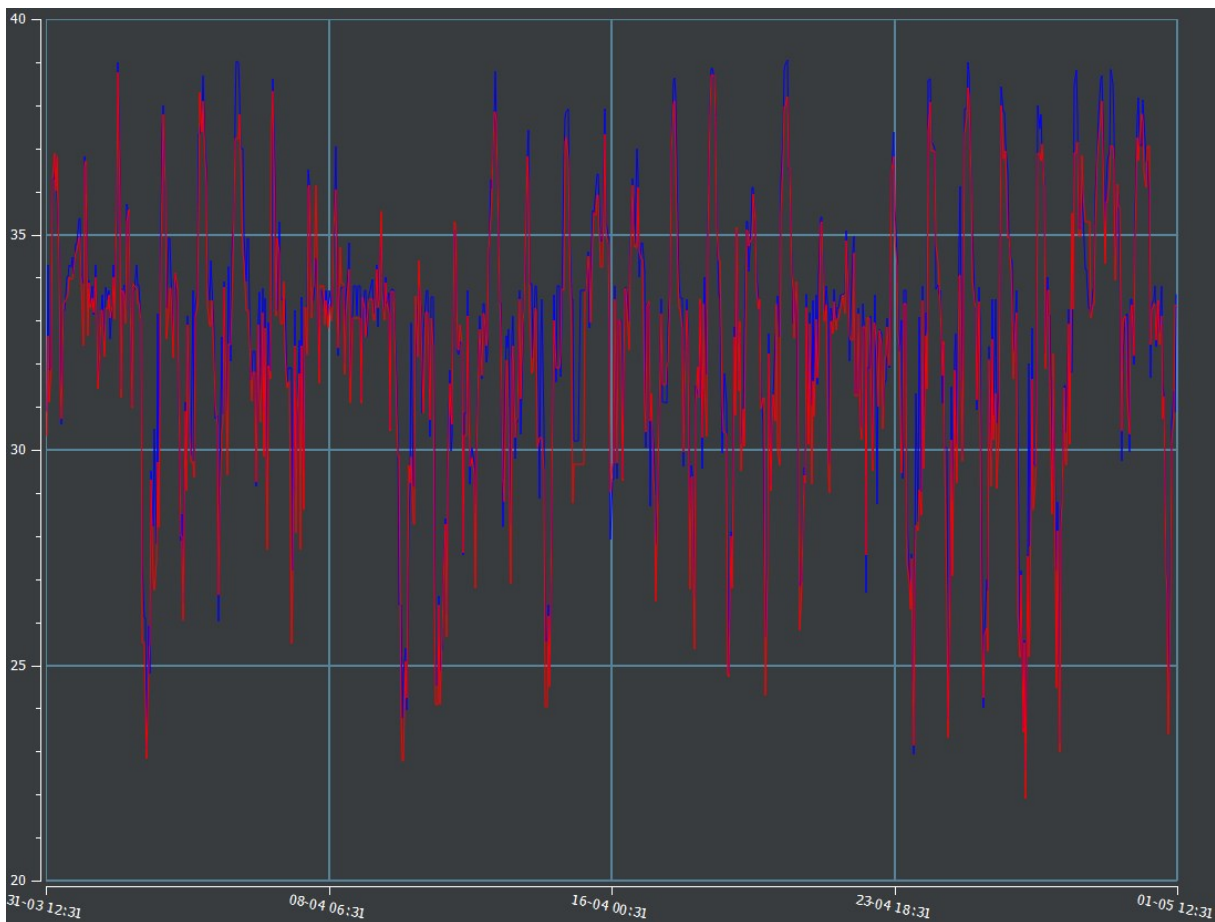
Figur 36 Døme på ein seriekopla akkumuleringstank. (VVS-kunnskap, 2017)

Figur 37 viser eit døme på ein parallellkopla akkumuleringstank. Denne har berre tre koplingspunkt, i motsetnad til eksisterande akkumuleringstank i anlegget, som har fire. For parallellkopla akkumuleringstankar vil varmpumpa (eller alternative energikjelder) levere varme til akkumuleringstanken uavhengig av sirkulert vassmengd i varmesystemet. For ei slik løysing (trepunktsskopling) skal sirkulert vassmengde mellom varmpumpa og tanken vere lik høgast sirkulerte vassmengde på varmeanlegget når alle ventilane er opne. Norsk VVS anbefaler ikkje firepunktsskopling, som er blitt brukt på dette anlegget, sidan dette aukar omrøyinga og dermed reduserer temperatursjiktinga i tanken. Då vil returtemperaturen til varmpumpa auke, og energisparinga blir dermed redusert. (VVS-kunnskap, 2017) Temperatursjiktinga vil i tillegg vere større for høge og tynne tankar, samanlikna med låge og breie tankar.



Figur 37 Døme på ein parallellkopla akkumuleringstank. (VVS-kunnskap, 2017)

Figur 38 viser eit skjermbilete frå SD-programvara, der ein kan sjå at returtemperaturen til varmpumpa frå akkumuleringstanken (blå kurve) følgjer kurva til turtemperaturen til golvvarmeanlegget (raud kurve). Returtemperaturen til varmpumpa er til og med til tider høgare enn turtemperaturen til golvvarmeanlegget. Dette tyder på at det førekjem omrøying i tanken, og at ein dermed ikkje oppnår ønska temperatursjiking. Dette blir sannsynlegvis forsterka av gravitasjonskrefter, sidan røyra er tilkopla toppen av tanken med om lag ein meter fall. Målt turtemperatur til varmebatteriet har til tider vore høgare enn retur til varmpumpa, men pådraget er ofte 0 % store delar av døgnet, og sidan det då blir stillestående vatn ved temperaturfølarer blir ikkje dette representativt for anlegget. Golvvarmeanlegget har meir stabil energibruk, noko som tyder på at det er sirkulasjon i anlegget, og det er derfor berre inkludert turtemperaturen til golvvarmeanlegget i denne figuren.



Figur 38 Skjermbilete frå SD-programvara i månadsvisning (31.3-1.5.2017), som viser returtemperatur til varmpumpa (blå kurve) og turtemperatur til golvvarmeanlegget (raud kurve).

6.3.2 Regulering av spisslast

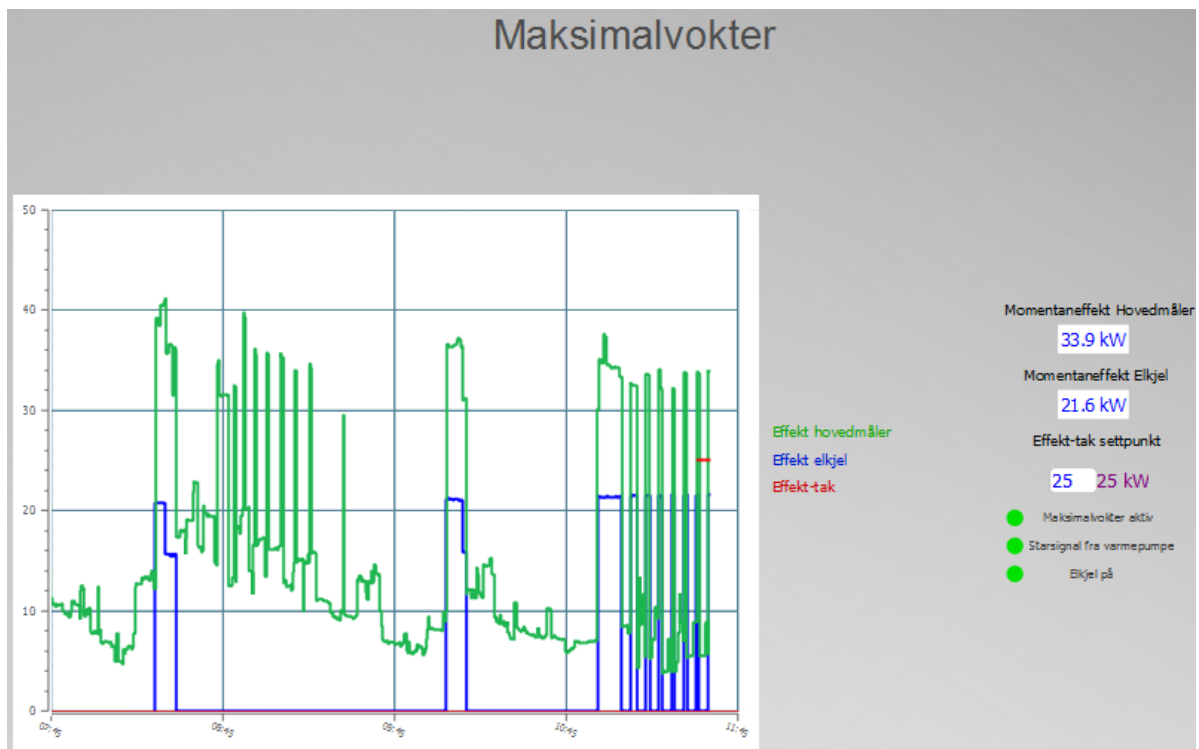
Ved normal drift er det hovudsakleg returtemperaturen som styrer dei interne elektriske elementa i varmpumpa, men ved drastiske endringar i turtemperaturen kan også den verke inn. Dei elektriske elementa er programmert til å slå inn etter 15-20 min, først med trinn 1 og deretter med trinn 2. (Svingen, 2017)

Elkjelen i akkumuleringstanken er kopla slik at den slår inn i parallell med trinn 2 i varmpumpa. Dersom det er tilstrekkeleg, vil varmpumpa berre bruke det første trinnet av dei

elektriske elementa (3 kW), og i så fall vil ikkje elkjelen i akkumuleringstanken bli kopla inn. Dei elektriske elementa blir styrt av interne følarar i varmpumpa, og det er også interne følarar i varmpumpa som styrer kva effekt elkjelen i akkumuleringstanken koplar inn. I periodane der varmpumpa er i tappevassmodus, vil det ikkje vere noko sirkulasjon mellom varmpumpa og akkumuleringstanken. Dermed vil ikkje elkjelen i akkumuleringstanken kunne slå inn til trass for at temperaturen i akkumuleringstanken vil bli redusert som følgje av normal drift av sirkulasjonspumpene til golvvvarmeanlegget og varmebatteriet.

I perioden 1. oktober til 30. april har nettleverandøren i området eit effektledd, som gjer at høge effekttoppar gir auka straumkostnadar. Prisen for dette effektleddet blir berekna etterskotsvis for kvar månad basert på største registrerte effekt i løpet av ein time. (NTE, 2017) Grunna hyppige innkoplingar frå elkjelen med høg effekt, vart det i mars 2017 montert ein maksimalvoktar som skal avgrense bruken av elkjelen i periodar der det samtidig er høg effektbruk totalt for bygget. I maksimalvoktaren er det lagt inn ein føresetjing om at elkjelen er konstant 15 kW, slik at dersom maksimalvoktaren ser at den totale effekten for bygget overstig maksgrensa (22 kW) dersom elkjelen koplar inn, så vil ikkje elkjelen kunne kople inn. Dersom den totale effekten ikkje overstig maksgrensa og elkjelen blir kopla inn, så vil den dersom effekten overstig maksnivå ved eit seinare tidspunkt bli kopla ut etter 10 minutt. Dette tiltaket utgjør lite i forhold til energisparing, då det berre blir brukt høg effekt for ein kort periode, men kan føre til økonomiske besparingar. (Hustad, 2017)

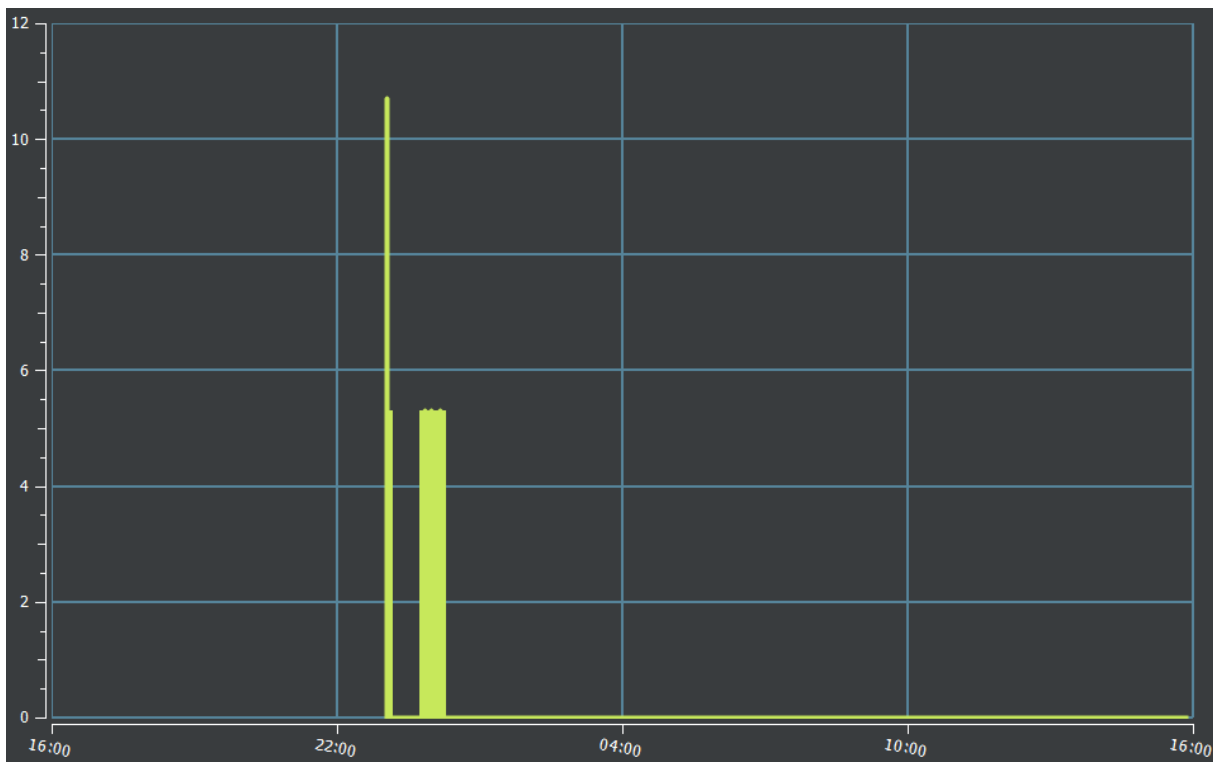
Figur 39 viser eit skjermbilete frå fanen Maksimalvokter i SD-programvara 8. mars. Her kan ein sjå innkoplinga av elkjel dei fire siste timane med blå kurve, medan total effekt for bygget er vist med grøn kurve. Ved dette tidspunktet var maksimalvoktaren innstilt på ei øvre grense på 25 kW, men denne vart raskt redusert til 22 kW, noko som reduserte innkoplinga av elkjelen betrakteleg. For desse timane har det vore relativt hyppig innkopling av elkjel, men ein kan sjå at maksimalvoktaren berre tillèt høg effektbruk for ein kort periode (10 min).



Figur 39 Skjermbilete frå fanen Maksimalvokter i SD-programvara (tatt 8.3.2017).

Varmepumpa skal alltid styre innslaget av spisslasta. Dersom spisslasta hadde blitt regulert av ein eigen termostat, ville den blitt regulert etter konstant temperatur. Det ville ført til at spisslasta vart mest brukt i sommarhalvåret ved utetemperatur-kompensering frå varmpumpa. (Zijdemans, 2014) I tillegg skal spisslasta koplart i serie med varmpumpa, slik at spisslasta ikkje koplart inn før varmpumpa går på full kapasitet. Som tidlegare nemnd skal spisslasta plasserast så nær turrøyet til varmesystemet som mogleg, og ikkje i tilknytning til returrøyet til varmpumpa.

Slik anlegget har fungert til no (basert på overvakinga av elkjelen som starta i mars), så har elkjelen i akkumuleringstanken slått inn mykje utanfor driftstid då bygget står tomt. Dette gjeld spesielt då varmpumpa køyrer legionellasikring (i tappevassmodus) kvar fredag kveld kl. 23:00. Då har elkjelen slått inn i parallell kvar gong, fordi varmpumpa ikkje har greidd heile temperaturløftet til 60 °C. Dermed blir det tilført ei høg effekt til romoppvarming som ikkje blir nyttegjort, sidan bygget normalt ikkje blir tatt i bruk før måndag morgon. Elkjelen slo framleis inn 2.6.2017, med ein kort topp på 10,7 kW og elles mindre innslag på 5,35 kW som vist på Figur 40. Behovet varmpumpa har for elektrisk effekt til legionellasikringsfunksjonen ser dermed ut til å ha blitt redusert, etter utbetringane angående volumstraum i brinekretsen. Dette kan og ha samband med høgare temperaturnivå i brinekretsen, som følgje av lågare varmeuttak og høgare utetemperatur mot sommaren.



Figur 40 Skjermbilete frå SD-programvara som viser innslag av elkjel siste døgn, tatt 3.6.2016.

Top VVS monterte i mai 2017 eit kort (RT Realtime RTD-LT/CA) i varmpumpa, som i tillegg til overvaking og regulering av varmpumpa, skulle mogleggjere innkopling av ekstern spisslast til varmpumpa. Før dette eventuelt fungerer må Enoco ordne dei elektriske koplingane, og det vart ikkje gjort før leveringsfristen for denne Masteroppgåva. Dette kortet vil mogleggjere bivalent drift av varmpumpa i romoppvarmingsmodus, noko som vil seie at

enten brukast varmpumpa eller så brukast spisslasta. Kva av oppvarmløysingane som blir brukt ved ei slik regulering blir styrt frå varmpumpa og er avhengig av utetemperatur. Det blir altså satt ein gitt temperatur der varmpumpa opererer ved høgare temperaturnivå og elkjelen opererer ved lågare temperaturnivå. Ein temperaturdifferanse mellom 2-10 °C (standard 3 °C) vil avgjere når drifta skiftar mellom varmpumpa og spisslasta, for å hindre for hyppig skifte. Denne funksjonen med bivalent drift gjeld berre for romoppvarmløysinga og vil ikkje ha nokon innverknad på tappevassoppvarminga. (Daikin, 2013)

Ei slik regulering av spisslasta vil hindre at den slår inn på sommarhalvåret og i forbindelse med tappevassoppvarminga, noko som vil vere ein fordel. Ei sær stor ulempe derimot, er at spisslasta vil dekkje heile varmebehovet for dei kaldaste dagane av året, sjølv om varmpumpa kunne levert 13 kW. Dette er svært ugunstig og vil i tillegg føre til høgare straumrekningar på vinterhalvåret, grunna effektprising og at elkjelen dekkjer heile behovet.

Som nemnd i kapittel 6.3.1 skal elkjelen berre kunne kople inn då varmpumpa allereie er på full kapasitet. Dei skal dermed kunne vere innkopla samtidig dei kaldaste dagane av året. Verken noverande regulering eller planlagd regulering med bivalent varme vil dermed gje optimal regulering av spisslast. Dette blir vidare diskutert i kapittel 7.2, der det også kjem forslag til korleis spisslasta kan regulerast.

6.4 Analyse av tappevassoppvarminga

Barnehagar har i utgangspunktet eit relativt lågt energibehov for varmt tappevatn i forhold til romoppvarmløysinga. Denne barnehagen er ikkje noko unntak, då det av målingar kom fram at energibruken til varmt tappevatn i perioden 1.1.2017-17.5.2017 var 1 147 kWh, noko som berre utgjorde 4 % av den totale energibruken til oppvarming for bygget. Dette var også vesentleg lågare enn berekna energibehov til varmt tappevatn, men vil kunne auke utover sommaren då det er lågare romoppvarmløysinga og berre behov for varmt tappevatn. I andre bygningstypar av passivhusstandard (bustadar, hotell, idrettshallar, osv.) vil tappevassbehovet kunne vere dominerande med omsyn til årleg varmebehov. Det vil seie at same løysing for tappevassoppvarming passar ikkje i alle bygningar og løysinga må tilpassast det aktuelle bygget.

I spesifikasjonane frå COWI var det foreslått at det fortrinnsvis skulle veljast ei varmpumpe med overhettingsvarmevekslar. Då skulle varmtvassberedinga skje over to trinn, der varmtvatnet blir forvarma av kondensatoren og ettervarma av overhettingsvarmevekslaren til ønska temperatur. (Stene, 2014b) Varpmpumpa kunne då levert varme både til romoppvarming og tappevassoppvarming samtidig. Eit varmpumpeaggregat med overhettingsvarmevekslar (og ev. sugegassvarmevekslar) ville og vore meir energieffektivt, men dei ekstra komponentane ville kanskje ført til ein høgare investeringskostnad. Det er ikkje undersøkt kva andre varmpumpemodellar som er tilgjengeleg med ei slik systemløysing, eller gjort berekningar for å sjekke om den ekstra investeringa ville svara seg økonomisk i forhold til energisparinga.

For større anlegg blir det ofte brukt to varmpumpeaggregat når det veljast ein vekseltilløysing. Aggregatet for romoppvarming har då høgare effekt enn aggregatet som til tider varmar varmtvatn. I dei periodane det mindre aggregatet leverer varme til tappevassoppvarming er det framleis eitt aggregat som dekker romoppvarminga. Dermed får ein langt høgare energidekningsgrad totalt sett enn om ein berre hadde hatt eitt aggregat. Det er sjølvsagt urealistisk at ein skal ha to aggregat når varmebehovet er så lågt som for dette bygget. (Stene, 2017b)

Denne varmepumpa leverer enten varme til romoppvarming eller varmt tappevatn, ikkje begge delar samtidig. Tappevassoppvarminga kan vidare vere enten timeplanbasert, basert på "Reheat-modus", som gjer at varmepumpa køyrer tappevassoppvarming etter behov, eller ein kombinasjon av desse. For dette bygget har varmepumpa blitt regulert etter Reheat-prinsippet og skifta dermed til tappevassoppvarming åtte-ni gongar i døgnet, basert på observasjonar i SD-programvara. Bruken av Reheat-modus gjer at det ikkje blir levert varme til romoppvarming store delar av døgnet, noko som gir store temperaturvariasjonar i varmesystemet, samt fleire innkoplingar av spisslasta slik denne har blitt regulert til no. Det er spesielt varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet som tappar akkumuleringstanken raskt for varme dersom varmepumpa er i tappevassmodus om natta eller morgonen. Det står følgjande åtvaring om dette i installasjonsmanualen for varmepumpa:

«There is a risk of space heating capacity shortage/comfort problem (in case of frequent domestic hot water operation, frequent and long space heating interruption will happen) when selecting Domestic hot water Type=Reheat only.» (Daikin, 2013)

Frå SD-anlegget kunne ein sjå at dette var tilfelle, då varmepumpa har skifta til tappevassoppvarming omtrent kvar tredje time. Turtemperaturane til både golvvarmeanlegget og varmebatteriet i ventilasjonsanlegget fell ofte ned mot 20 °C i desse periodane. Etter skrivarens vitande har dette likevel ikkje blitt oppdaga av brukarane av bygget, og har dermed ikkje påverka komforten. Når det gjeld mangel på varmt tappevatn, så merka brukarane av bygget derimot dette raskt, då varmepumpa vart regulert etter timeplanbasert tappevassoppvarming.

Sidan varmebehovet til golvvarme og ventilasjonsvarme er dominerande (i forhold til varmt tappevatn), bør varmepumpa ikkje gå over til tappevassmodus i dei periodane dette varmebehovet er størst. Timeplanbasert oppvarming vil dermed vere betre enn Reheat-modus og gje høgare energisparing, men samtidig må det sørgjast for at det blir levert ei tilstrekkeleg mengde varmt tappevatn. Den eksterne varmtvassberedaren bør derfor vere innkopla, slik at det er mogleg å lagre ei større mengde varmtvatn, samtidig som den kan varme tappevatn elektrisk ved behov medan varmepumpa er i romoppvarmingsmodus.

Ifølgje Varmenormen 2017, bør temperaturen i varmtvassberedaren minimum vere 70 °C. Vidare må varmtvatnet blandast ned til eit lågare temperaturnivå for å unngå skolding ved tappepunkta. For dei fleste bygg anbefalast det å blande ned til ca. 62 °C, men for barnehagar og andre brukarar med stor skoldingsrisiko bør temperaturen på tappestaden blandast ned til 38 °C. (VVS-foreningen, 2017) Med omsyn på energieffektivitet er slik overoppheting og påfølgjande nedblanding til lågare temperaturnivå ei dårleg løysing, men dette er rekna som nødvendig for å ivareta helsa og sikkerheita til brukarane av bygget.

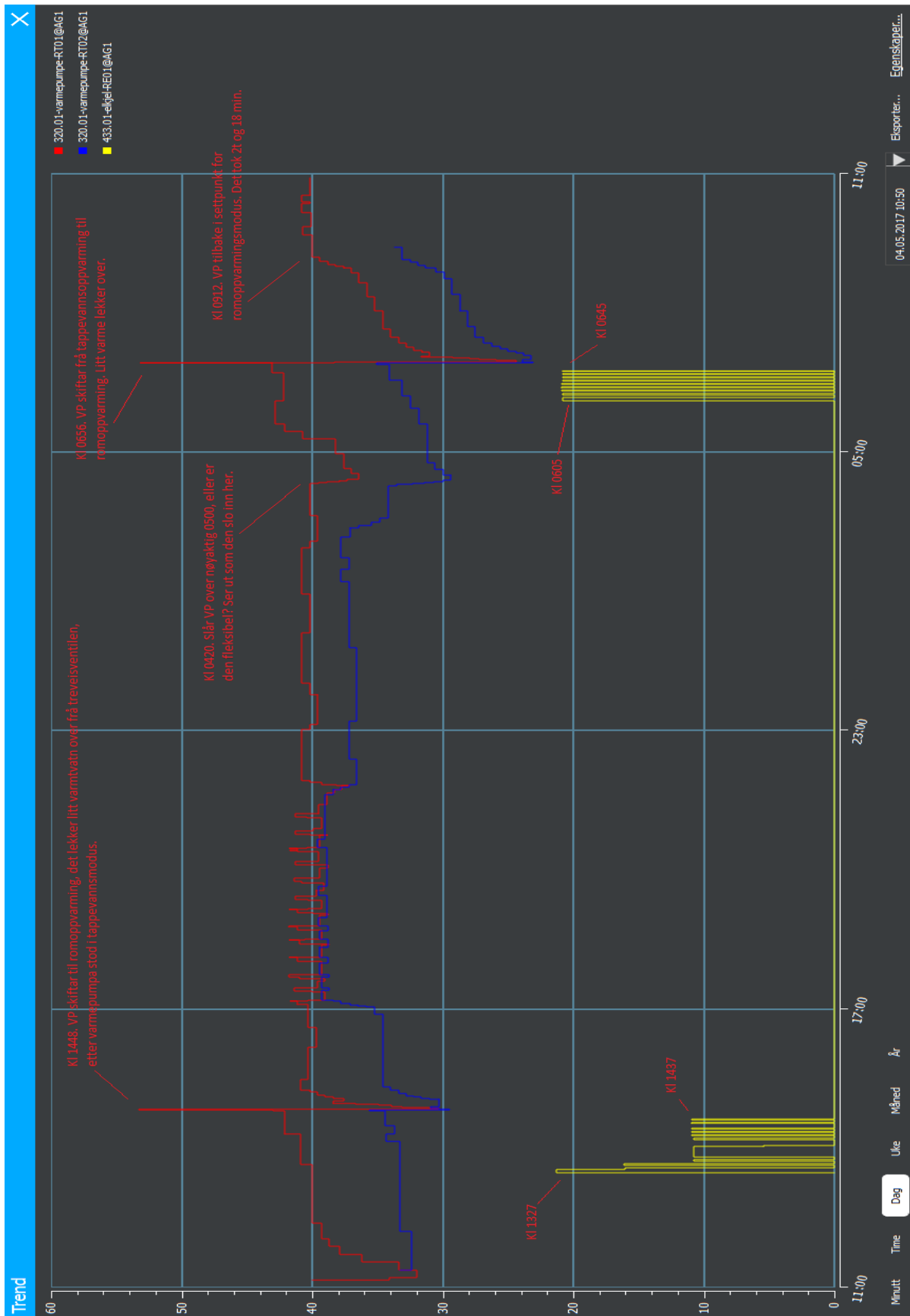
Årsaka til at temperaturen i varmtvassberedaren skal vere minimum 70 °C er for å unngå legionellabakterien, som er same årsaka til at varmepumpa varmar sin interne tappevasstank til 60 °C ein gong i veka. Denne bakterien er likevel farlegast ved innånding, noko som typisk kan komme frå luftkondisjoneringsanlegg, kjøleanlegg, dusjanlegg, boblebad eller fontener. (Folkehelseinstituttet, 2016) Sidan ingen av desse installasjonane er aktuelle for dette bygget (utanom dusjanlegg, som ikkje er i bruk), kunne det tenkjast at det ville vore mogleg å redusere varmtvasstemperaturen frå 70 °C til 50-60 °C og dermed redusere energibruken til tappevassoppvarming.

Som grunnregel er det berre behov for varmt tappevatn under driftstida til bygget, dvs. mellom kl. 06:00-17:00. Døme på målte tur- og returtemperaturar eit typisk døgn er vist i Figur 41. I denne perioden var varmpumpa i Reheat-modus, slik at turtemperaturen (gul kurve) haldt seg relativt stabil i underkant av 50 °C. For perioden utanfor driftstida der det ikkje vart brukt tappevatn, var også returtemperaturen (grøn kurve) relativt stabil i underkant av 40 °C. Resirkulasjonsleidningen er kopla inn på røyret med kaldt byvatn før temperaturfølarer, så det er derfor det blir målt så høge returtemperaturar. Då det førekjem forbruk av varmt tappevatn vil det komme inn nytt, kaldt byvatn, som basert på målingar dette døgn ligg rundt 6 °C.



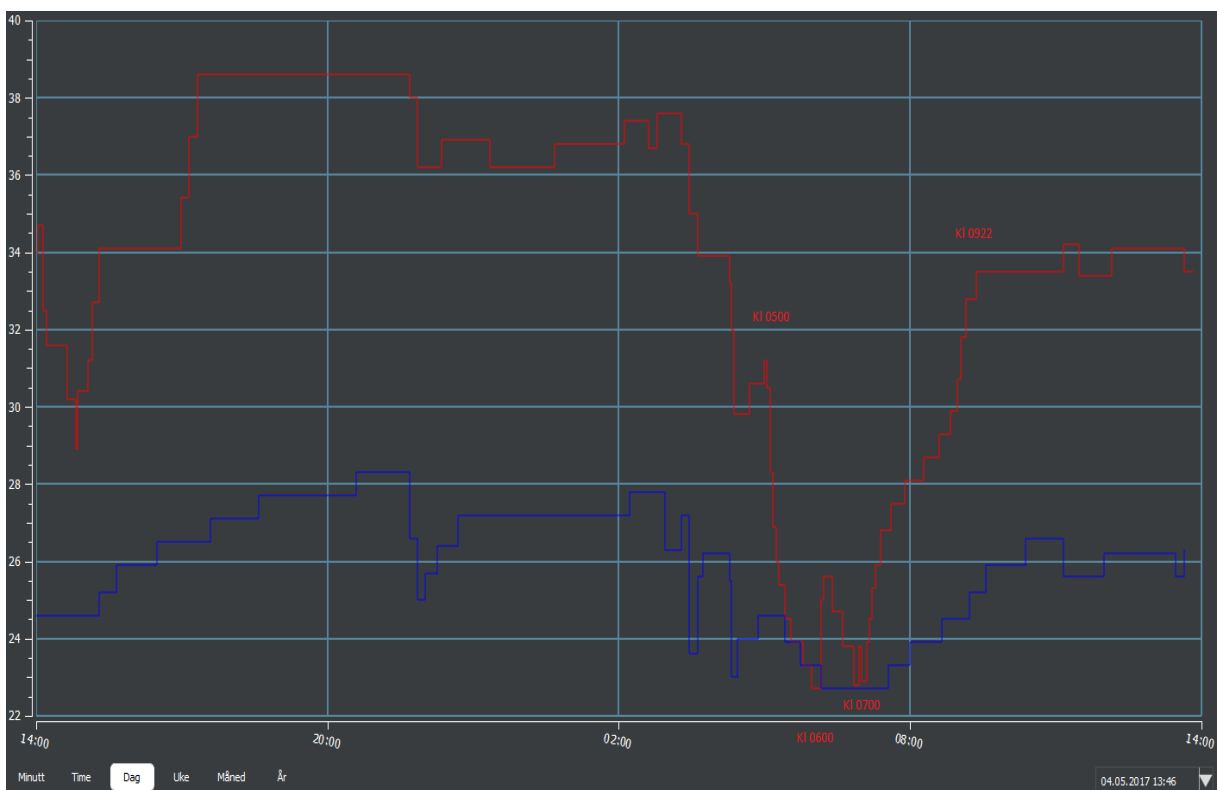
Figur 41 Skjermbilete frå SD-programvara (14.3.2017 kl. 18). Gul kurve viser turtemperatur for varmt tappevatn frå varmpumpa medan grøn kurve viser returtemperatur til varmpumpa.

I perioden 2-10. mai vart det forsøkt andre innstillingar for tappevassoppvarming for å betre driftsforholda for varmpumpa. I perioden 2-5. mai skulle varmpumpa berre ha ein tappevasssyklus kvar dag kl. 05:00, der den skulle auke tanktemperaturen til 60 °C måndag-fredag og 45 °C laurdag-søndag. Dette viste seg å kollidere med romoppvarmingsbehovet. I tillegg førte temperaturkravet om 60 °C til at varmpumpa måtte nytte dei interne elektriske elementa for å klare heile temperaturløftet. Sidan trinn 2 av desse var kopla i parallell med elkjelen i akkumuleringstanken slo og den inn som vist på Figur 42 under desse dagane. Desse kraftige innslaga av elkjelen i akkumuleringstanken skjedde altså i samband med tappevassoppvarminga, og uavhengig av oppvarmingsbehovet til golvvarmeanlegget og varmbatteriet i ventilasjonsanlegget. I denne figuren er det inkludert nøyaktige tidspunkt og kommentarar som vart sendt til Top VVS for å orientere om problemet. Det viste seg i tillegg at berre ein tappevassoppvarming per døgn gav for lite varmt tappevatn, noko brukarane fekk merke.



Figur 42 SkjermBILETE frå SD-programvara som viser tur- og returetemperatur til varmepumpe (raud og blå kurve) samt innkopling av elkjel siste døgn (tatt 4.5.2017).

Figur 43 viser tur- og returtemperatur for golvvarmeanlegget for eit døgn (4.5.2017). Dette døgnet var det berre ein syklus for tappevassoppvarming, programmert til å vere kl. 05:00. I samband med denne falt turtemperaturen til golvvarmeanlegget frå om lag 31 til 23 °C i løpet av ein time, der det største temperaturfallet skjedde i løpet av den første halvtimen. Frå Figur 42 kan ein sjå at varmpumpa skifta tilbake til romoppvarmingsmodus kl. 06:56 og då steig turtemperaturen til i overkant av 33 °C i løpet av nesten 2,5 time. Denne tappevasssyklusen kolliderte altså med romoppvarmingsbehovet og varmpumpa brukte lang tid på å hente seg inn igjen og levere tilstrekkeleg varme til romoppvarming. Sidan det berre var ein syklus for tappevassoppvarming dette døgnet, vil oppvarmingsbehovet ha vore større enn normalt, slik at det tok noko lengre tid å varme opp alt varmtvatnet i den interne akkumuleringstanken i varmpumpa. Utetemperaturen var likevel målt til 8,4 °C denne dagen, så romoppvarmingsbehovet var også relativt lågt samanlikna med kva det kan vere på vinterhalvåret.



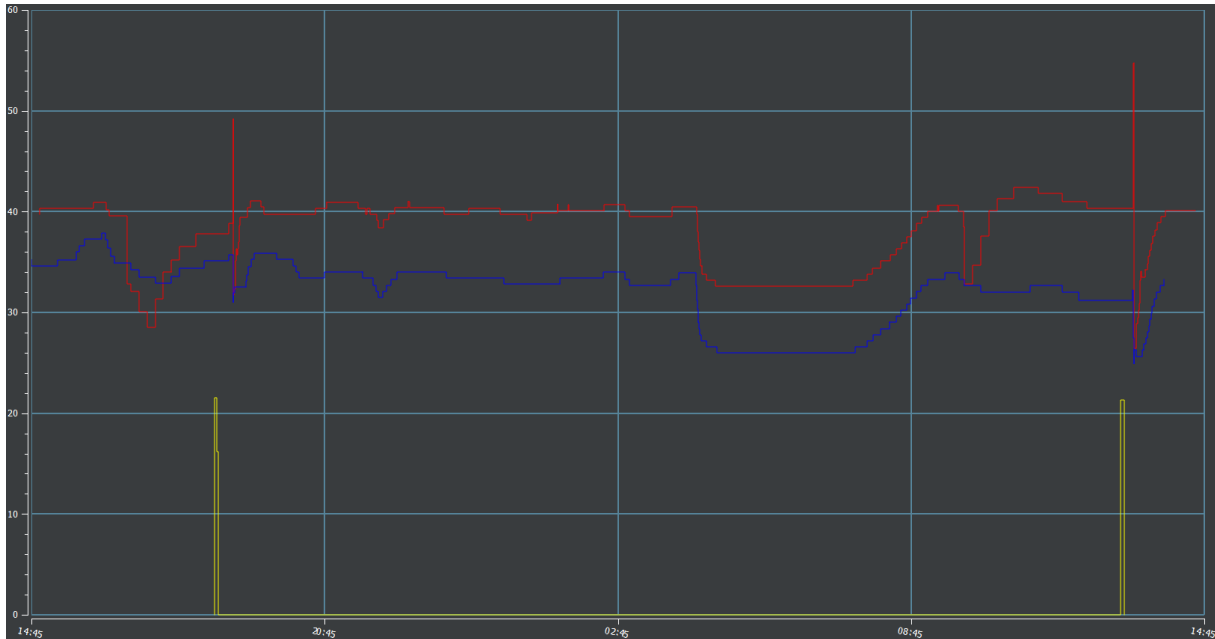
Figur 43 Skjermbilde frå SD-programvara (4.5.2017) som viser tur- og returtemperatur for golvvarmeanlegget over eit døgn.

I perioden 5-10. mai var tappevassoppvarminga programmert til følgjande tidspunkt og settpunktstemperturar:

- Søndag-torsdag: kl. 18:00, oppvarming til 55 °C
- Fredag-laurdag: kl. 18:00, oppvarming til 45 °C
- Måndag-fredag kl. 11:00, oppvarming til 45 °C

Ved desse innstillingane vart det oppnådd vesentleg meir stabile driftsforhold for varmpumpa i romoppvarmingsmodus, som vist i Figur 44. Varmepumpa er her innstilt på fast utgåande vassstemperatur på 40 °C, noko den held mesteparten av tida. Mellom dei to innslaga frå elkjelen kan ein sjå ein dupp i både tur- og returtemperatur, som følgje av auka pådrag til varmebatteriet.

Effektbehovet her har stor innverknad på kva temperaturnivå varmepumpa greier å levere, til trass for at den får gå uforstyrta i romoppvarmingsmodus i denne perioden. Innslaget frå elkjelen i akkumuleringstanken vart også redusert samanlikna med reheat-modus og skjedde berre i forkant av at varmepumpa skifta tilbake til romoppvarmingsmodus. Dette tyder på at den berre koplå inn grunna parallellkoplinga til trinn 2 i varmepumpa som var nødvendig for å klare temperaturløftet i samband med tappevassoppvarming. Det viste seg likevel at også denne løysinga ikkje leverte tilstrekkeleg mengde varmtvatn.



Figur 44 Skjermbilete frå SD-programvara 8.5.2017, som viser tur- og returtemperatur til varmepumpa (raud og blå kurve), samt innslag av elkjel (gul kurve).

Figur 45 viser tur- og returtemperaturar for tappevassoppvarming, samt innkopling av elkjel for ein måned, inkludert denne perioden der det vart prøvd ut alternative løysingar. Verdiane blir midla over tid i SD-programvara, så det kan gje eit feil inntrykk av blant anna innkoplinga av elkjelen (gul kurve). Det blir trekt ei linje mellom målepunkta for verdiane over 0, så der det er rette linjer har ikkje elkjelen vore koplå inn. Arealet under kurva samsvarar dermed ikkje med energibruken til elkjelen. Ein kan sjå tre toppar i turtemperatur (raud kurve), som er blitt målt i samband med legionellasikringa fredagar kl. 23. Det kjem tydeleg fram at turtemperaturen ikkje vart haldt på eit tilstrekkeleg temperaturnivå i perioden det vart utprøvd timeplanbasert oppvarming. Sidan den eksterne varmtvassberedaren ikkje var koplå inn i denne perioden, representerte turtemperaturane her det reelle temperaturnivået som vart levert til tappevasspunkta. Når varmtvassberedaren er koplå inn, vil den heve turtemperaturen, noko som ikkje vil visast i SD-programvara, så vidare analyse av regulering for tappevassoppvarming med innkopla varmtvassberedar må baserast på tilbakemeldingar frå brukarane av bygget.



Figur 45 Månadsvisning for tappevasstemperaturar (raud og blå kurve) samt innkopling av elkjel (gul kurve), tatt 10.5.2017.

For at det skal bli levert tilstrekkeleg varme til romoppvarming er ein avhengig av at tappevassmodusen endrast til tider der den ikkje kolliderer med romoppvarmingsbehovet, slik at det ikkje tar for lang tid for varmpumpa å varme opp igjen akkumuleringstanken etter ein slik periode. Det kan og vere lurt å kontrollere at romtermostatane ikkje krevjar høgare temperatur enn kva som er nødvendig, då det vil tappe akkumuleringstanken raskare for varme. Det vil bli føreslått løysingar for betre regulering av tappevassoppvarminga i kapittel 7.3.

6.5 Analyse av varmeopptakssystemet

Ved montasje av jordkolektorane gjekk det hol på kolektoren fleire stadar, slik at det kom jord, gras og andre framandlekamar inn i systemet. Reingjeringa graveentreprenøren utførte i ettertid var ikkje god nok, så det er framleis problem med anlegget grunna framandlekamar i systemet. Kolektoren vart skjøtt saman med PRK-koplingar, og det vart montert ekstra filter som er blitt reinsa fleire gongar. Normalt vil denne typen kolektorsystem installerast av profesjonelle som har gjort dette før, og då får ein ikkje denne typen feil.

Når Top VVS (i 2015) skulle køyre innregulering og utlufting av brinekretsen vart det etter kort tid stopp, og dei fann gras og andre framandlekamar i silane. Det var og problem med utluftinga, som sannsynlegvis skyldast at kolektorane var lagt litt i bogar i varmeopptakssystemet. Det vil då samle seg luft i toppen av desse bogane, som sakte, men sikkert blir med ut. Trykket i kolektorkretsen falt til stadigheit og det vart etterfylt frostvæske ved fleire anledningar. Etter kvart vart trykkforholda betre og driftsansvarlege på Medbroen skulle orientere Top VVS om det vart meir problem framover. I oktober 2016 oppdaga Top VVS ved ein synfaring at det framleis var problem med trykket i brinekretsen, og at varmpumpa stort sett ikkje hadde vore i drift store delar av året. Silane vart reinsa for fleire framandlekamar og det vart etterfylt frostvæske. Innjusteringa av volumstraumen var ikkje slik den skulle, og byggeigar vart informert om at det var mogleg at berre ein av kolektorkursane fungerte. (Sveistrup, 2017)

Det er svært uheldig at problema med innreguleringsventilane ikkje vart utbetra før i mai 2017, då det vart oppdaga over eit halvt år tidlegare. Ved synfaringar vart det lest av vesentleg lågare volumstraum enn spesifisert for anlegget, noko som vil ha ført til laminær strøyming i kollektoren og låg U-verdi. Dette fører til vesentleg lågare varmeuttak frå omgivnadane (jamfør $Q = U \cdot A \cdot LMTD$) og dermed høgare energibruk for å dekkje oppvarmingsbehovet. Kostnadane for å utbetre ein slik feil er langt lågare enn kostnadane som følgje av den ekstra energibruken for varmesystemet. Feilen vil heller ikkje gå over av seg sjølv, så det er ingen grunn til å utsetje slikt.

Dersom det hadde blitt nytta eit direkte system, så ville det vore fare for kompressorhavari som følgje av framandlekamane i kollektorsystemet. Eit direkte system ville i tillegg hatt større arbeidsmediefylling, og då måtte ein brukt eit anna arbeidsmedium enn R410A, til dømes propan, grunna konsekvensar for avgifter, lekkasjekontrollar og generelt forsvarleg handtering av arbeidsmediet i høve til F-gassforordningen. Fordampingstemperaturen og COP ville derimot blitt høgare for ei direkte systemløyning, sidan det ved eit indirekte system blir ei ekstra varmeveksling i fordamparen mellom frostvæska og arbeidsmediet.

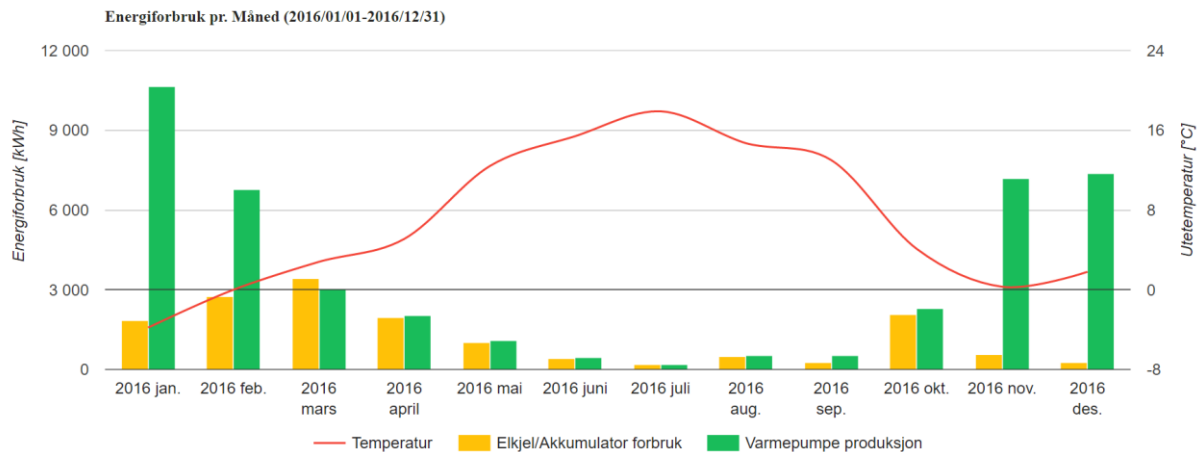
Varmeuttaket for jordkollektorane blir bestemt av tilstanden til jordsmonnet, der det er gunstig med høgt fuktinnhald, dvs. myr, matjord, osv., då det har høgare varmeleiingsevne enn t.d. grus/sand. Figur 46 viser eit bilete av varmeopptaksområdet i mai, der det var myrtilstandar til trass for at det ikkje hadde vore nedbør på ei veke. I kombinasjon med strøyminga til elva (tvungen konveksjon til varmeopptaksområdet) tilseier dette at kollektorane bør ha gode forhold for varmeuttak. Det meste av varmen hentast ut ved utfrysing av vatn (latent varme), men fordampingstemperaturen og COP avtek når tjuknaden på islaget aukar. (Stene, 2016b)



Figur 46 Bilete som viser varmeopptaksområdet frå synfaring 2.5.2017.

Kollektorsystemet gjekk tett i løpet av 2016, slik at varmpumpa ikkje fungerte skikkeleg. Dette vart ikkje oppdaga med ein gong, og Figur 47 gir eit bilete på kor mykje energi varmpumpa leverte i forhold til elkjelen i akkumuleringstanken dette året. Basert på forholdet mellom søylene til «Varmepumpe produksjon» og «Elkjel/akkumulator forbruk», ser det ut som at varmpumpa berre fungerte normalt i månadane januar, november og desember. Utanom dette har elkjelen dekkja for store delar av oppvarmingsbehovet, i forhold til at varmpumpa skulle ha minimum 80 % energidekningsgrad. I mars var det til og med større energibruk av elkjelen

enn kva varmepumpa leverte. Det kjem tydeleg fram at reguleringa av elkjelen ikkje er slik den burde vere, då den i tillegg koplå inn på sommartid ved utetemperaturar rundt 16 °C. Dette kan både komme av problema med brinekretsen, eller av at elkjelen blir regulert i parallell med trinn 2 for elkjelen i varmepumpa, slik at det har skjedd under legionellasikringa då varmepumpa var i tappevassmodus.



Figur 47 Utklipp frå EOS som viser energiproduksjonen til varmepumpa, straumforbruket til elkjelen i akkumuleringstanken og utetemperaturane per månad for 2016. (Enoco AS, 2017)

Grunna problema med brinekretsen, finnast det heller ikkje innreguleringsprotokoll for anlegget, slik det skulle gjort i høve til spesifikasjonane frå COWI. I perioden for arbeidet med masteroppgåva har i tillegg ein av dei to innreguleringsventilane vore defekt, slik at det var uvisst om volumstraumen var i høve til spesifikasjonane for anlegget. Det skulle ifølgje desse ha vore ei samla sirkulert mengde til og frå varmepumpas fordampar på 1,0-1,2 L/s (eller 60-72 L/min). (Stene, 2014a) Innreguleringsventilane er sensitive ovanfor framandlekamar, og på synfaring kunne ein faktisk sjå jordpartiklar inne i ventilane, som vist på Figur 48. For at varmeopptakssystemet skal hente ut tilstrekkeleg mengde energi frå jordsmonnet er det avgjerande at sirkulert mengde er korrekt og at kollektorkursane er i balanse.



Figur 48 Bilete av innreguleringsventilane som vart byta ut. Det kan skimtast noko grums i midten av ventilen som følgje av ureinheitar i systemet.

Problemet med innreguleringsventilane vart løyst 19.5.2017, ved å bytte ut begge innreguleringsventilane. Det vart montert to siler i forkant av kvar av kollektorkursane, for å hindre at dei blir øydelagd på ny av framandlekamar i systemet. Denne løysinga skal gjere det raskare å reinse ut eventuelle framandlekamar, og det skal vere mogleg å gjere for ein av kursane samtidig som at varmepumpa trekker varme frå den andre kursen. Volumstraumen vart i tillegg justert til 25 L/min på kvar av dei to kollektorkursane. Dette svarar til 50 L/min totalt, og er noko lågare enn spesifikasjonane frå COWI. Volumstraumen bør aukast til 60 L/min totalt for å oppnå turbulent strøyming og hente ut tilstrekkeleg mengde energi frå jordsmonnet.

Som nemnd i kapittel 5.4.1 var det ein beskjeden temperaturauke i brinekretsen mellom synfaringane 8. mars og 2. mai frå om lag $-2/-4$ °C til $0/-2$ °C, til trass for at utetemperaturen auka frå om lag 0 °C til i overkant av 10 °C. Dette kan ha samanheng med at innreguleringsventilane ikkje fungerte, og at kollektorsystemet berre henta varme frå ein av kursane. Etter innreguleringsventilane vart ordna 19. mai, steig temperaturnivået inn på fordamparen frå mellom $-2-0$ °C til mellom $4-6$ °C, til trass for auka volumstrøm. Dette tyder på at det ikkje var lik sirkulasjon i dei to kollektorkursane, og at ein fekk utnytta ein større del av varmeopptaksområdet. Basert på dei avlesne volumstraumane frå desse synfaringane (mellom $10-30$ L/min) var det i tillegg eit vesentleg avvik under denne perioden, samanlikna med spesifikasjonane for anlegget på $60-72$ L/min.

Korrekt volumstrøm er ein optimalisering mellom varmepumpas fordampingstemperatur (COP og varmeyting) og pumpearbeid i brinekretsen. Høg massestrøm gir liten temperaturdifferanse over fordamparen, høg fordampingstemperatur og god varmeovergang, men krevjar høgare pumpearbeid. Låg massestrøm gir stor temperaturdifferanse over fordamparen, låg fordampingstemperatur og moderat varmeovergang, og krevjar lågare pumpearbeid. Optimal volumstrøm gir dermed minimum energibruk for kompressoren og sirkulasjonspumpa i brinekretsen. Dette er typisk når varmepumpa ved full yting avkjøler frostvæska med om lag 3 °C over fordamparen. (Stene, 2017b)

Eit anna viktig moment for kollektorar for berg- og jordvarme er at for å oppnå god varmeovergang, må det vere turbulent strøyming i kollektoren. Ved laminær strøm blir konvektivt varmeovergangstal betydeleg lågare, noko som fører til at frostvæsketemperaturen blir redusert, jamfør $Q = U \times A \times \text{LMTD}$. Når U avtek, vil LMTD auke, og då vil frostvæsketemperaturen bli lågare for å få overført same varmemengda, noko som igjen gir lågare fordampingstemperatur og dermed lågare COP og varmeyting. Turbulens er svært avhengig av mediets viskositet, som varierer med temperaturen slik at lågare temperatur gir høgare viskositet. For 40 mm kollektorrrøyr med frostvæske HX35 (som for dette anlegget) anbefalast ca. $0,5$ L/s volumstrøm, då dette sikrar turbulent strøyming ved temperaturar omkring 0 °C. (Stene, 2017b)

Varmepumpa kommuniserer som tidlegare nemnd ikkje med SD-anlegget, og kan dermed ikkje overvakast. Feilmeldingshistorikken må derfor lesast av manuelt, og ein er dermed ikkje sikra at feilmeldingane blir oppdaga med ein gong. Dersom varmepumpa skrur seg av, vil den i tillegg prøve å starte seg opp igjen nokon gongar, før den registrerer ein feilmelding. Talet på forsøk er avhengig av kva feilen kjem av, slik at den ikkje vil prøve å starte opp att dersom feilen medfører at noko kan bli øydelagd. (Svingen, 2017) Det vart lest av feilmeldingar for varmepumpa ved følgjande tidspunkt:

- 3. november 2016 kl. 11:06
- 28. oktober 2016 kl. 12:14
- 31. august 2016 kl. 11:08
- 13. juni 2016 kl. 13:22
- 17. februar 2016 kl. 15:52

Alle disse feilmeldingane viste til feilkode E7, som ein i installasjonsmanualen kunne finne ut betydde «Brine flow abnormality». (Daikin, 2013) Det vil seie unormal (i dette tilfellet for låg) volumstraum i brinekretsen. Første og siste feilmelding var høvesvis 17. februar og 3. november 2016, noko som stemmer overeins med ytinga til varmpumpa i forhold til elkjelen i Figur 47. Sidan varmpumpa ikkje sender ut noko varsel om feilmeldingar, vart ikkje dette problemet oppdaga før oktober. Det har i tillegg vore feilmeldingar ved innregulering og utlufting av varmeanlegget då varmpumpa vart starta første gongen, men dette er normalt og desse var derfor blitt sletta frå loggen.

Det faktum at graveentreprenøren øydela kollektorane ved montasje har ført til mykje problem med anlegget, og dette viser viktigheita av å nytte fagfolk som har relevant erfaring ved graving/montering av kollektorslangar. Problema ville i tillegg blitt oppdaga tidlegare, dersom varmpumpa kommuniserte med SD-anlegget og feilmeldingane hadde blitt varsla der.

6.6 Overordna analyse av varmpumpeanlegget

Dei føregåande delkapitla viser at anlegget hittil ikkje har fungert optimalt, og at det er ein del forbettringspotensial på ulike områder. Høgast mogleg COP og energisparing blir oppnådd ved å:

- Minimalisere varmpumpas temperaturløft (ΔT)
- Minimalisere varmetilføringa frå spisslastsystemet
- Minimalisere energibruken for kompressoren (Stene, 2017c)

6.6.1 Design og dimensjonering

Vald varmekjelde for varmpumpa er jord, som er rekna for å vere ei høgtemperatur varmekjelde. Alternativt kunne det til dømes vore nytta bergvarme, luft eller elvevatn, sjølv om sistnemnde er blitt indirekte utnytta ved å legge jordkollektorane langs med elva. Bergvarmeanlegg har typisk ein høgare investeringskostnad, men har stabile temperaturnivå og krevjar lite vedlikehald. Investeringskostnadane og moglegheita for varmeuttak er svært avhengig av jordforhalda, der ein helst vil ha solid fjell og høg gjennomstrøyming av grunnvatn. Luft-vatn varmpumper fungerer dårlegare på vintertid når varmebehovet er størst, då låg utetemperatur gir høgt oppvarmingsbehov og samtidig er ei dårleg varmekjelde. Det var altså vald ei god løysing for varmekjelde for dette anlegget, sjølv om utføringa av arbeidet ved montering av kollektorane kunne vore vesentleg betre.

Bygget var først planlagd med radiatorar, der dimensjonerande temperaturnivå var 50/40 °C både for radiatorane og varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet. Dette vart endra til golvvarme og eit varmebatteri i ventilasjonsaggregatet med dimensjonerande temperaturnivå høvesvis 35/30 °C og 45/35 °C. Denne reduksjonen av temperaturløftet for varmpumpa var gunstig for COP og energisparinga til anlegget. Sidan det i starten ikkje var sikkert om bygget ville oppnå passivhusstandard, vart golvvarmeanlegget dimensjonert etter TEK 10, og er dermed overdimensjonert i forhold til bygningsstandarden. Temperaturnivået til golvvarmeanlegget

kunne dermed vore endå lågare, med turtemperatur 27-32 °C, avhengig av utetemperatur. (Sveistrup, 2017)

Varmepumpa leverer varmt vatn til ein akkumuleringstank, som igjen leverer varmt vatn til golvvarmeanlegget og varmebatteriet i ventilasjonsanlegget som har to forskjellige temperaturkrav. Dersom varmpumpa berre hadde levert til golvvarmeanlegget ville den hatt meir stabile driftsforhold, samt eit lågare temperaturløft og dermed oppnådd ein høgare COP. For dette anlegget må den levere eit høgare temperaturnivå for at varmebatteriet skal få det den treng, og i tillegg er det stor variasjon i pådraget til varmebatteriet, som fører til varierende varmebehov og dermed ustabile driftsforhold. I tillegg til dette må varmpumpa levere varmt tappevatn, slik at det i periodar ikkje blir levert noko varme til romoppvarming.

Det førekjem ikkje kjøling av bygget, noko som er svært positivt for energibruken og i tråd med passivhuskonseptet. Det er i tillegg bra at det er brukt jord som varmekjelde, slik at det er mogleg å utnytte frikjøling dersom det skulle oppstå eit kjølebehov i bygget i framtida. Dette bygget er eit godt eksempel på at bygningar kan ha lang levetid samt skifte bruksområde, noko som er veldig nyttig med tanke på klimagassutslepp. Årsaka til dette er at rehabilitering som regel gir mindre utslepp enn å rive og bygge nytt, noko som vil bli utdjupa i kapittel 8.3.

6.6.2 COP, energisparing og energidekningsgrad

Analysen av varmpumpeanlegget er i stor grad basert på målingar lenger ute i varmesystemet, så det er dermed vanskeleg å foreta ein vurdering av COP og reell energisparing. COP er definert ved gitte temperaturnivå; utgåande vassstemperatur frå kondensator og inngåande brinetemperatur i fordampar. COP_{vp} og COP_{tot}, som vart berekna i kapittel 5.3.1 blir eigentleg berre ein form for energiutbytte, sidan dei ikkje tar omsyn til desse temperaturnivåa. Det er heller ikkje mogleg å finne reell SCOP på dette tidspunktet, sidan varmpumpa ikkje var i drift store delar av 2016.

I kapittel 5.3.1 vart COP_{tot} (dvs. inkludert elkjelen) berekna til 1,1 for den kaldaste dagen for måleperioden (utetemperatur -9,9 °C). Dette vil ha hatt samanheng med fleire av feila i varmesystemet. Først av alt vil varmpumpa ha hatt for lite varmeopptak grunna problem med brinekretsen. Deretter har varmpumpa sannsynlegvis skifta til tappevassoppvarming 8-9 gongar i løpet av dagen, til trass for at romoppvarmingsbehovet er den klart dominerande varmelasta. Akkumuleringstanken blir raskt tømt for varme medan varmpumpa er i tappevassmodus og då den skifta tilbake vil elkjelen ha slått inn 20 kW etter 15 min pga. låg temperatur. Dette vil igjen ha varma opp returvatnet til varmpumpa, grunna dårleg utforming av akkumuleringstanken, og ført til dårlegare driftsforhold for varmpumpa. Det er også mogleg at den høge returtemperaturen har ført til at varmpumpa slo seg av. Det er svært ugunstig at varmesystemet oppnår så låg systemverknadsgrad då romoppvarmingsbehovet er på sitt største.

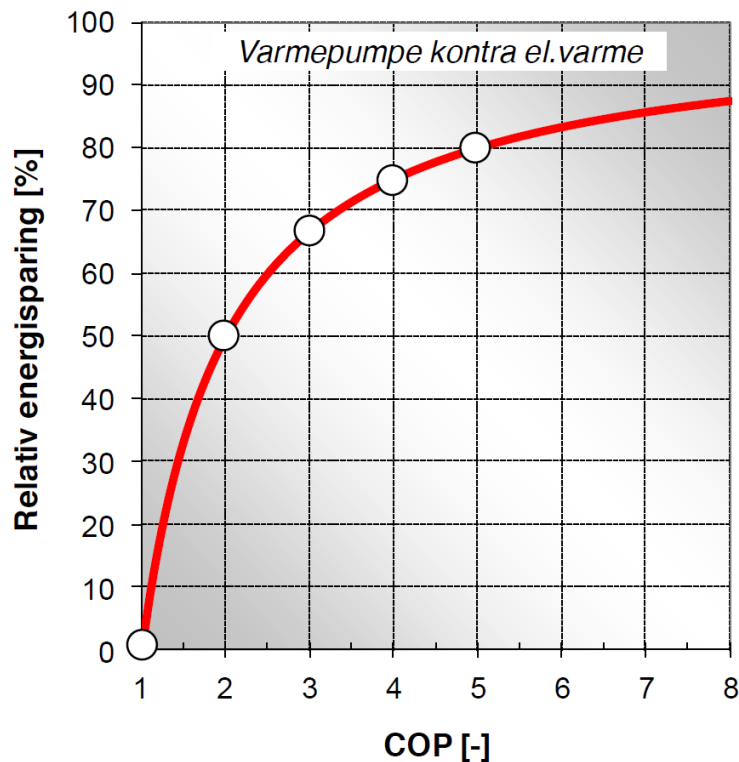
Gjennomsnittleg COP for varmpumpa i løpet av måleperioden vart berekna til 2,7. Denne er basert på energimålarar lenger ute i varmesystemet, og det er store usikkerheiter knytt til om denne verdien er representativ for varmpumpa. Den er i tillegg berekna basert på gjennomsnittleg effekt kvar dag over ein periode på 4,5 månadar, og ikkje basert på gitte temperaturnivå. Dersom denne skal samanliknast med oppgitt COP frå leverandøren av varmpumpa, som var 4,35 ved 0/35 °C og 3,29 ved 0/45 °C, så vil den karakteriserast som låg. Anlegget har i denne perioden blitt drifta rundt 0/40 °C, som blir ein mellomting av dei to oppgitte verdiane. Dersom ein antar ein lineær samanheng og finn middelveidien, så burde COP burde dermed vore 3,82.

Energisparinga for eit varmepumpeanlegg blir berekna ut frå følgjande formel:

$$\Delta E = \left(\frac{1}{\eta_{\text{alt}}} - \frac{1}{\text{COP}} \right) \times 100 \%$$

Der η_{alt} er verknadsgraden for alternativt oppvarmingssystem og tilnærma lik 1 for elektrisk oppvarmingssystem. (Stene, 2016a)

Basert på denne formelen vil eksisterande anlegg med COP lik 2,7 oppnå ein energisparing på 63 %. Dersom COP hadde vore 3,82 som antatt ovanfor, ville varmepumpa ført til ein energisparing på 74 %, samanlikna med elektrisk oppvarming. Det er altså ein forskjell på 11 %-poeng, som er relativt mykje. Det er forventa ein auke i COP etter utbetringane med varmeopptakssystemet, samt dersom dei føreslegne tiltaka i kapittel 7 blir gjennomført. Det er spesielt bruken av spisslast som har hatt ein negativ innverknad på COP. Etter kvart som COP aukar, blir det både vanskelegare og meir kostbart å gjennomføre forbetringstiltak, samanlikna med gevinsten i energisparing. Dette prinsippet er vist i Figur 49. Desto høgare energibruken til det aktuelle bygget er, desto høgare blir gevinsten målt i kWh. Økonomisk besparing vil i tillegg auke grunna lågare effektbruk frå spisslasta, då varmepumpa yter optimalt.



Figur 49 Relativ energisparing ved ulike COP. (Stene, 2016a)

I dokumentasjonen for energiytinga til bygget stod følgjande:

«Det er forutsatt at varmepumpeanlegget dekker 80 % av alt varmebehov (inkludert ventilasjonsoppvarming og varmt tappevann), resten dekkes av elektrokjel. Dette er et svært konservativt anslag.»

Dersom ein reknar varmeytinga til varmepumpa som energien gitt av energimålarane Varmepumpe produksjon og Tappevann forbruk for måleperioden 1.1.2017-17.5.2017, så har varmepumpa hatt ein energidekningsgrad på 94,4 %, samanlikna med energibruken til elkjelen

i akkumuleringstanken. Dette talet skulle egentleg vore vesentleg lågare, då varmeytinga gitt her inkluderer effekten frå dei interne elektriske elementa i varmepumpa. I tillegg er det ikkje inkludert energibruken til elkolben i den eksterne varmtvassberedaren, som også ville redusert energidekningsgraden, men ikkje i særleg grad. Energidekningsgraden bør vurderast på nytt etter utbetringane, basert på reelle målingar frå varmepumpa og over eit fullt kalenderår.

6.6.3 Talet på kompressorstart

Som nemnd i kapittel 5.4.2 var det registrert urovekkjande høge tal på kompressorstart. Generelt anbefalast det som grunnregel at varmepumpa ikkje bør starte oftare enn tre gongar i timen, grunna høg slitasje som følgje av lite smøring idet kompressoren startar, samt lågare COP. (Zijdemans, 2014) For mars 2017 var det 286 kompressorstart, noko som svarar til eit gjennomsnitt på 9,2 kompressorstart kvar dag. Kompressoren var i drift 711 timar, så dette svarar til 0,4 start per time, og er dermed innanfor grunnregelen. Den gjeld sannsynlegvis for varmepumper med intermittert regulering (på/av), og sidan denne varmepumpa har turtalsregulert kompressor, samt utetemperaturkompensert turtemperatur skal det vere vesentleg færre kompressorstart.

Totalt sidan oppstarten var det 8 872 kompressorstart, noko som tilsvarar i overkant av ein start per time, då talet på driftstimar for kompressoren var 8 205 timar totalt. Årsaka til at dette gjennomsnittlege talet på kompressorstart per time var vesentleg høgare enn for mars har truleg samband med driftsproblema i 2016. Framandlekamane i brinekretsen førte til fleire feilmeldingar, der varmepumpa vil ha forsøkt å starte seg opp igjen fleire gongar før den registrerte feilmeldingane. Den har nok greidd det mange gongar utan å registrere feilmeldingar også.

Årsaka til det høge talet på kompressorstart er framleis uklar, men det er antatt å ha samband med då varmepumpa skiftar mellom romoppvarming og tappevassmodus. Ein annan forklaring kan vere at den slår seg av då elkjelen i akkumuleringstanken slår inn, då denne har varma returvatnet til varmepumpa. Dette må i så fall berre ha skjedd medan varmepumpa er i romoppvarmingsmodus, for det er ingen sirkulasjon mellom varmepumpa og akkumuleringstanken medan den er i tappevassmodus. Sannsynlegvis vil også dette problemet bli redusert etter utbetringane som er gjort og føreslått for varmeanlegget.

7 Forslag til forbetringar

I løpet av våren vart det oppdaga fleire feil som vart retta opp medan arbeidet med masteroppgåva pågikk. Dette kapitlet inkluderer berre forslag til forbetringar som ikkje vart gjennomført, sjølv om noko av det er planlagt å gjennomføre. Det er ikkje gjort økonomiske berekningar for å vurdere lønsemda til tiltaka, men det er berre føreslått løysingar som verkar fornuftige i forhold til energibruken til bygget samt eksisterande systemløyning.

7.1 Meir instrumentering/måleutstyr

Anlegget har allereie relativt gode overvakingsmoglegheiter i forhold til energibruk, og spesielt EOS-nettsida er svært brukarvenleg. I SD-programvara får ein til tider nokon feilmeldingar i Trendfunksjonen, slik at ein må restarte programmet, så denne kunne slik sett vore meir brukarvenleg. Begge er likevel svært nyttige verktøy og ein kan hente ut ønska data til Excel både raskt og enkelt. Det er likevel nokon manglar ved overvakinga og energioppfølginga. Eigaren/driftsansvarleg for bygget ynskja seg tilbakemelding på dette og skreiv, sitat:

«Som bruker kunne det vært fint om oppgaven også tok høyde for å angi hvordan anlegg og SD-system kan utnyttes enda bedre (f.eks. om det er rapporter vi burde hatt, eller justeringsmuligheter vi bør ha spesielt fokus på +++) – for å få både et lavere forbruk og en større oversikt over anlegget.» (Thyholt, 2017)

I tråd med dette er det føreslått følgjande forbetringstiltak for instrumenteringa til anlegget:

7.1.1 Overvaking og regulering av varmpumpa via SD-anlegget

Det har vore ei stor ulempe at varmpumpa ikkje kunne overvakast og regulerast via SD-anlegget. Det er ikkje slik at ein til ei kvar tid må ha full oversikt over alle moglege verdiar, men for å oppnå ei god drift av anlegget og legge til rette for problemsøking ved eventuelle feil bør minimum følgjande informasjon loggast og overførast til SD-anlegget for visualisering (Stene og Havellen, 2016):

- Målingar for varmpumpeaggregatet: Fordampings- og kondenseringstemperatur (-trykk), temperaturar inn/ut for varm og kald side, COP, kapasitetstrinn/turtal, straumforbruk, avgitt varmeeffekt/-energi, timeteljar, alarmer/feilkodar. Dette bør loggast på minuttintervall og presenterast i historiske kurver minst eitt år tilbake i tid.
- Målingar for heile varmeanlegget: Tur- og returtemperatur (hovudkursar for varme), turtal hovudpumper samt differansetrykk, avgitt varmeeffekt/-energi for spisslast, tur-/returtemperatur for varmekjelde. Lista er ikkje uttømmende.

Stene og Havellen skriv vidare at det er viktig at all relevant informasjon loggast over tid og overførast til SD-anlegget for å kunne visast på skjermbilete. Termisk energiproduksjon frå varmpumpa og anlegget totalt samt elektrisitetsbruken til varmpumpa, anna teknisk utstyr og energibruk til spisslast må og summerast på minimum månads- og årsnivå. Det vil då vere mogleg å følgje opp årsvarmefaktorar og årlege energisparingar for varmpumpa.

Sidan varmpumpa hittil ikkje har kommunisert med SD-anlegget manglar det fleire av parametrane frå første punkt. Kortet (RT Realtime RTD-LT/CA) som vart montert i varmpumpa i mai skal mogleggjere både overvaking og regulering av varmpumpa, og vil kunne føre til vesentleg betre oversikt over drifta til varmpumpa. Funksjonane til kortet er henta frå produktkatalogen og kan finnast i Vedlegg 7.

Dersom det skulle vise seg at det ikkje er moglegheit for fjernavlesing av varmpumpa via SD-anlegget, bør det monterast ein energimålar i brinekretsen, som overvakar tur-/returtemperatur og massestraum. Dette for å følgje med på om varmpumpa får tilstrekkeleg med energi frå omgivnadane og for å kontrollere om det blir meir problem med kollektorkretsen. Volumstraumen bør i tillegg aukast til 60 L/min totalt for å oppnå turbulent strøyming og hente ut tilstrekkeleg mengde energi frå jordsmonnet.

7.1.2 Logging av volumstraum for dei termiske energimålarane

Analysen i denne rapporten er basert på målt energibruk og temperaturar frå dei termiske energimålarane i anlegget, samt synfaringar. Dersom det var mogleg å overvake volumstraumane i varmesystemet ville det vore vesentleg lettare å sjå samanhengar og trekkje konklusjonar i samband med drifta til varmesystemet. Det ville og gjort feilsøkinga i høve til temperatursvingingane betrakteleg enklare, slik at det ville frigjort meir tid til optimalisering av andre delar av anlegget. Volumstraumane kan og vere nyttige for å vurdere effektbehovet til ventilasjonsvarme og golvvarme, og dermed finne dei beste tidspunkta for når varmpumpa kan gå i tappevassmodus.

7.1.3 Logging av verknadsgraden til varmegjenvinnaren i ventilasjonsaggregatet

Energibruken til ventilasjonsvarme har vore relativt høg, og varmegjenvinnaren har stor innverknad på energibehovet til oppvarming av ventilasjonsluft. Det hadde derfor vore interessant med logging av verknadsgraden til varmegjenvinnaren i ventilasjonsaggregatet. Temperaturverknadsgraden til varmegjenvinnaren kan bereknast etter følgjande formel:

$$\eta_t = \frac{L_t \times (t_2 - t_1)}{L_{\min} \times (t_3 - t_1)}$$

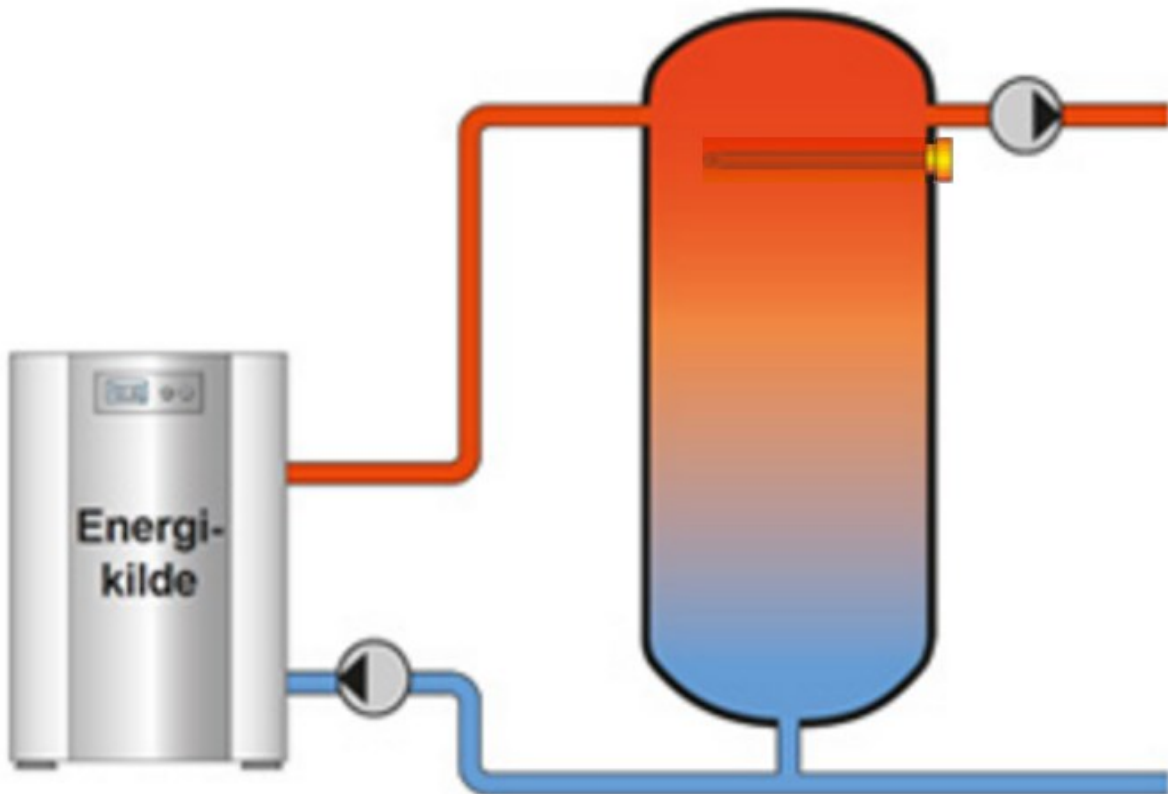
der:

- L_t er tilluftsmengde (m³/h)
- L_{\min} er den minste av tilluftsmengde og avtrekksmengde
- t_1 er temperatur på tilluft før varmegjenvinnar
- t_2 er temperatur på tilluft etter varmegjenvinnar
- t_3 er temperatur på avtrekksluft før varmegjenvinnar (Schild og Hestad, 2002)

Andre tiltak for å undersøkje energibruken til ventilasjonsanlegget er føreslått i kapittel 10.2.

7.2 Utforming av akkumuleringstank og regulering av spisslast

Basert på analysen i kapittel 6.3.1 anbefalast det å byte ut akkumuleringstanken med ein ny akkumuleringstank med tre koplingspunkt. Dette for å unngå omrøyring i tanken, som reduserer temperatursjiktinga og fører til høgare returtemperatur til varmpumpa og dermed lågare COP. Det vil også vere ein fordel med ein større akkumuleringstank, slik at det blir levert tilstrekkeleg varme til varmesystemet i dei periodane varmpumpa er i tappevassmodus. Ein høgare og tynnare tank vil i tillegg oppnå meir temperatursjikting. At elkjelen er plassert i nedre del av tanken vil også føre til høgare returtemperatur til varmpumpa. Elkjelen bør plasserast så nært toppen av tanken som mogleg, og i tilknytning til turrøyret til golvvarmeanlegget og varmebatteriet, som vist i Figur 50. Då vil varmt vatn akkumulere i toppen og gå rett til turrøyret som går til golvvarmeanlegget og varmebatteriet.



Figur 50 Parallellkopta tank med tre koplingspunkt og spisslast i toppen.

Spisslasta, i dette tilfellet elkjelen i akkumuleringstanken, skal ikkje kople inn før varmpumpa allereie går på full kapasitet. Spisslasta skal berre bidra til det resterande temperaturløftet varmpumpa ikkje greier å levere til varmesystemet, og skal vere innkopta i tillegg til varmpumpa, ikkje på eiga hand slik den vil bli regulert etter prinsippet om bivalent drift. Basert på installasjonsmanualen til varmpumpa er det ikkje mogleg å kople spisslasta i serie med varmpumpa slik som den burde. Dersom dette er tilfelle er det ein betydeleg svakheit ved denne varmpumpemodellen, som vil føre til vesentleg lågare energidekningsgrad. Det bør søkjast etter å finne ei løysing der spisslasta blir kopta i serie med varmpumpa og først kan slå inn då varmpumpa går på full kapasitet.

Dersom det ikkje er mogleg å regulere spisslasta slik den burde, og det er mogleg å kombinere dei to løysingane for regulering av elkjel, vil ein kunne oppnå betre regulering av elkjelen enn ved å berre nytte ein av dei. Då kunne ein aktivert bivalent drift i sommarhalvåret, for å sikre at elkjelen i akkumuleringstanken ikkje slår inn ved høge utetemperaturar, eller då varmpumpa er i tappevassmodus. Under vinterhalvåret kunne ein deretter deaktivert bivalent oppvarming og latt elkjelen i akkumuleringstanken bli regulert i parallell med trinn 2 av dei elektriske elementa i varmpumpa som før. Dermed vil både varmpumpa og elkjelen kunne operere dei kaldaste dagane av året. Ved denne reguleringa vil likevel elkjelen kunne slå inn då varmpumpa er i tappevassmodus, til dømes under legionellasikringa. Dette er dermed ikkje nokon ideell løysing, men vil vere eit betre alternativ totalt sett enn løysingane kvar for seg.

Eit anna alternativ kan vere å montere ein temperaturfølar i turrøyret vidare til varmesystemet frå akkumuleringstanken, som sørgjer for at elkjelen berre slår inn dersom varmpumpa ikkje greier levere ønska settpunkttemperatur i høve til varmpumpa sin utetemperatur-

kompeniseringskurve. For ei slik løysing må det vere ein tidsavgrensing, slik at varmpumpe får litt tid på seg etter den skifta tilbake frå tappevassmodus. For å redusere effekttoppane bør det i tillegg vere tidsavgrensing på kva effekt elkjelen i akkumuleringstanken slår inn med. Det vil seie at den først startar med 5 kW og deretter slår inn 10, 15, og deretter 20 kW etter ei viss tid, dersom det framleis er behov for det. Det er noko usikkerheit rundt om det i praksis er mogleg å få til ei slik løysing, og om den vil fungere etter hensikta.

7.3 Regulering for tappevassoppvarming

Det har vist seg å vere problematisk at varmpumpe må veksle mellom romoppvarming og tappevassoppvarming. Dette kunne vore unngått ved å nytte ei varmpumpe med overhettingsvarmevekslar, slik at den kunne levert varme til begge deler samtidig. Dette problemet vil ha blitt forsterka av andre problem både med varmeopptakssystemet, utforming av akkumuleringstanken og regulering av spisslasta, som alle påverkar varmeytinga til varmpumpe. Løysinga med prioritert veksventil kan altså vise seg å fungere betre, etter desse andre problema er blitt utbetra.

Det er uansett ikkje gunstig for romoppvarminga at varmpumpe går i Reheat-modus. Den er då vekke lenge om gangen i tappevassmodus, og turtemperaturane til golvvarme og ventilasjonsvarme blir svært redusert i enkelte av desse periodane, spesielt tidleg om morgonen. På bakgrunn av eksisterande systemløysing og forsøka som vart utført i starten av mai, er føreslått løysing dermed timeplanbasert tappevassoppvarming med ekstern varmtvassberedar innkopla. Den timeplanbaserte oppvarminga av varmt tappevatn må leggjast til tidspunkt der dette ikkje kolliderer med romoppvarmingsbehovet. Det bør fortrinnsvis skje på kveldstid, sidan det har vist seg å gå mykje energi til ventilasjonsvarme om natta og tidleg på morgonen. Om kvelden er det i tillegg ingen i bygget, samt det er minimalt romoppvarmingsbehov sidan bygget har blitt varma opp heile dagen av både varmesystemet, soltilskot og internlastar (varme frå personar, lys og utstyr). Passivhus har ofte relativt kort fyringssesong (avhengig av klimasone) og for dei delane av året det ikkje er romoppvarmingsbehov bør varmpumpe berre køyrast i tappevassmodus.

Ein bakdel med å varme tappevatnet kvelden før, kan vere at det vil vere noko varmetap frå røyra og varmtvassstanken i varmpumpe fram til det blir brukt dagen etterpå. Dette vart derimot til ein fordel fredag kveld under legionellasikringa, då det vart eit lågare temperaturløft for varmpumpe og dermed mindre innkopling av dei elektriske elementa. Installasjonsmanualen til varmpumpe tilrårer og å legge inn ein oppvarmingssyklus om lag tre timar før tidspunktet for legionellasikring for å forvarme tanken, dersom det nyttast timeplanbasert tappevassoppvarming. (Daikin, 2013)

Varmpumpe vil med ei slik løysing få lågare energidekningsgrad for tappevassoppvarminga, sidan elkolben i varmtvassberedaren vil stå for store delar av oppvarminga. Den vil derimot få høgare energidekningsgrad for varmen levert til golvvarmeanlegget og varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet, som for dette bygget er det dominerande varmebehovet. For å avgrense energibruken til spisslasta er det viktig at varmpumpe er i romoppvarmingsmodus samtidig som dette varmebehovet er på sitt største. Effekttoppane for bygget vil i tillegg reduserast ved at varmpumpe hovudsakeleg leverer varme til romoppvarming og dermed reduserer innslaget av elkjelen i akkumuleringstanken, samt dei interne elektriske elementa i varmpumpe. Slik anlegget har blitt regulert til no, har desse kopla inn opp mot 26 kW (4 x 5 kW + 2 x 3 kW) ved

jamne mellomrom i motsetnad til elkolben i akkumuleringstanken som maksimalt kan yte 3 kW.

I tillegg til tappevassoppvarminga på kveldstid bør det leggjast til ein til to tappevasssyklusar på dagtid for å oppnå høgare energidekningsgrad. Optimale tidspunkt er avhengig av både romoppvarmingsbehovet og behovet for varmt tappevatn, som vil variere frå dag til dag og ved ulike årstider. Behovet for varmt tappevatn er likevel relativt stabilt, så utanom å berre køyre varmpumpa i tappevassmodus på sommartid treng ein ikkje endre på noko i løpet av året. Det må ikkje skje for tidleg på dagen og det vil heller ikkje vere nyttig om det skjer etter brukarane er reist heim. Derfor vert det foreslege enten ein syklus kl. 12 eller to syklusar, kl. 11 og 14, i tillegg til ein kvelden før, til dømes kl. 19 (kl. 20 fredagar).

Det er viktig å påpeike at brukarane av bygget (etter skrivarens vitande) ikkje har merka temperatursvingingane der det vart levert lite varme til golvvarmeanlegget og til ventilasjonsvarme. Dette kan komme av at det er noko termisk treigheit i slike vassborne varmeanlegg, grunna varmekapasiteten for betongen der golvvarmesløyfene ligg. Brukarane merka derimot raskt at det vart for lite varmt tappevatn, så for deira del vil det vere viktigare å sørge for at det er tilgjengeleg ei tilstrekkeleg mengde varmt tappevatn, enn å oppnå meir stabile driftsforhold samt høgare energisparing for varmpumpa. Dette var vanskeleg å oppnå med timeplanbasert oppvarming medan den eksterne varmtvassberedaren var kopla ut, men vil sannsynlegvis ikkje vere noko problem så lenge den er innkopla. Funksjonen «Reheat + Scheduled» kan også vere eit alternativ, men då vil ein kunne oppleve same problema med at tappevasssyklusen krasjar med romoppvarmingsbehovet. Ein bør uansett vere i dialog med brukarane av bygget, samt følgje med i SD-programvara dersom det skal prøvast ut andre løysingar for tappevassoppvarminga.

8 Diskusjon

Til trass for feila med varmesystemet er Medbroen gardsbarnehage eit unikt prosjekt, i den forstand at eit svært gammalt bygg er blitt rehabilitert til passivhusstandard og i tillegg skifta bruksområde. Som nemnd i innleiinga er dette eit førebileteprosjekt då det kjem til rehabilitering av eksisterande bygningsmasse, som er viktig for å redusere klimagassutsleppa frå bygningar. Det kunne likevel vore betre utført, og i dette kapittelet er det diskutert rundt rehabilitering og generelt design av miljøvenlege og energieffektive bygningar.

8.1 Integrert design og bruk av ITB-koordinator

Eit godt samspel mellom dei tekniske anlegga i eit bygg er avgjerande for ein optimal administrasjon og drift av bygget. For å oppnå betre samkøring mellom dei ulike aktørane som har vore involvert i prosjektet, burde det for dette prosjektet vore meir fokus på integrert design i prosjekteringsfasen. Integrert design går ut på at det er ein interaktiv prosess med samarbeid mellom dei ulike profesjonelle fagpersonane frå første dag, sidan alle aspekt ved design av eit bygg heng saman. På den måten vil ein sjå på bygget som eit heilskapleg system med mange delar som innbyrdes er avhengig av kvarandre. Dermed vil ein enklare kunne sikre at dei vil arbeide saman på harmonisk vis, i staden for å skape hindringar for kvarandre. (Anda og Bjelland, 2013)

Det burde og vore brukt ein ITB-koordinator (ITB -Integrerte tekniske bygningsinstallasjonar), med oversikt over heile anlegget, som kunne sørgja for at alle komponentar innan bygningsautomasjon hadde same brukargrensesnitt. NS 3935 – ITB-standarden fastset detaljerte føringar for dei prosessane ein ITB-ansvarleg skal ivareta. Det gjeld prosessane for design, planlegging, anskaffing, installering, testing, dokumentasjon og idriftsetjing av integrerte tekniske bygningsinstallasjonar. Standarden skal sikre forplikande samspel og koordinering mellom dei ulike aktørane, og er utarbeidd for å danne eit felles grunnlag for relevante fag og entreprisar, slik at bygget enklare skal kunne nyttast av alle. ITB er eit godt verktøy for å sikre økonomi, funksjon og sikkerheit i heile byggets levetid. Standard Norge tilrår vidare følgjande tre standardar for å få bygningsautomatisering «Riktig med en gang»:

- NS 3935 – ITB-standarden
- NS 6450 – Idriftsetting og prøvedrift av tekniske bygningsinstallasjoner
- NS-EN 15232 – Bygningsautomatisering (Standard Norge, 2017)

Bygget var først planlagd med radiatorar, på grunn av lågare investeringskostnader, men det vart seinare avgjort å velje golvvarme, då Top VVS tilbydde ein god pris på det. COWI hadde først prosjektert bygget med radiatorar med temperaturnivå 50/40 °C, samt 50/40 °C til varmebatteriet. Endringa til golvvarme var positivt for varmepumpa sidan det krevjar eit lågare temperaturløft, men varmebatteriet skulle framleis ha 50 °C. At varmepumpa skulle levere til eit varmebatteri i tillegg til golvvarmeanlegget kom overraskande på Top VVS, som anbefalte å redusere temperaturnivået, slik at det enda på 45/35 °C. At det skulle vere 20 kW elektrisk effekt som spisslast verka og å ha komme overraskande på Top VVS, noko som kan vere årsaka til at reguleringa av spisslast kunne vore betre gjennomført. Etter varmepumpa var installert vart Enoco engasjert, og då viste det seg at varmepumpa ikkje kunne kommunisere med resten av SD-anlegget. Dette kunne vore unngått om Enoco hadde vore kopla inn på eit tidlegare stadium. Dersom det hadde vore mogleg å overvake varmepumpa ville blant anna

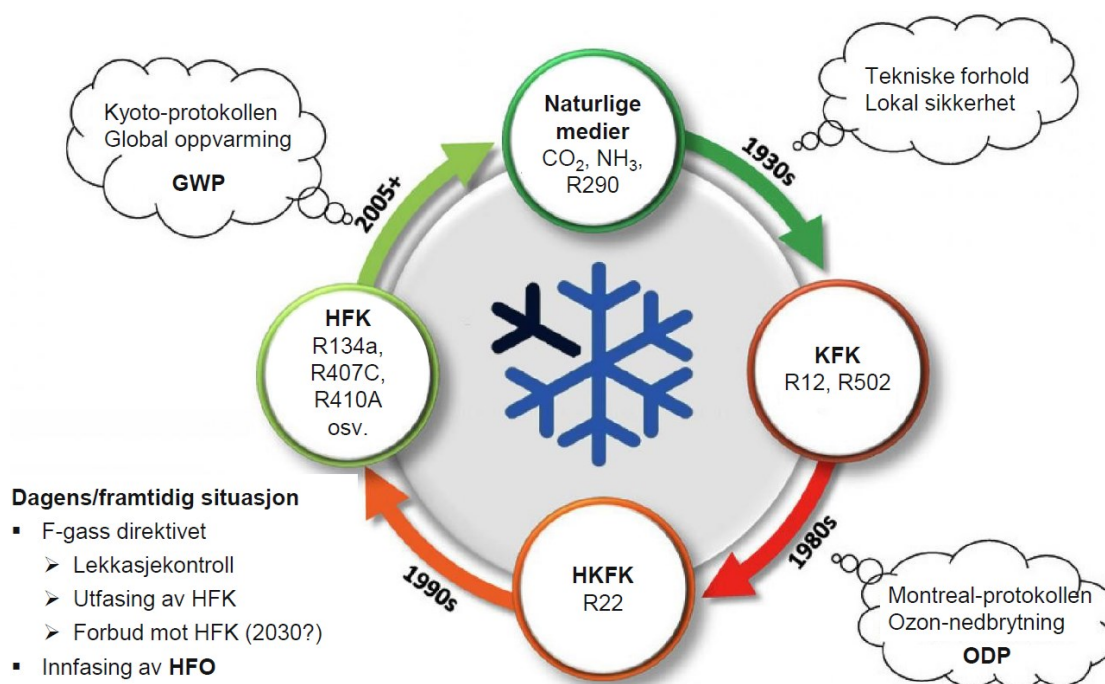
driftsproblema i samband med ureinheiter i kollektorsystemet blitt oppdaga og utbetra på eit tidlegare stadium.

8.2 Val av arbeidsmedium

For dette anlegget er det brukt arbeidsmediet R410A, som er kategorisert som ein HFK-gass (Hydrofluorkarboner). Dette er ein kraftig klimagass som har ein GWP (Global Warming Potential) på 2 090 CO₂-ekvivalentar. Det er uansett eit energieffektivt arbeidsmedium, som er svært mykje brukt i varmepumpeaggregat i dag. R410A er verken giftig eller brennbart, men er luktfritt og kan føre til fortrenging av luft. Det er også ein temperaturavgrensing for mediet, då det med standard utstyr berre kan gje ein varmeleveranse på 50 °C. (Stene, 2017a) Dette er likevel tilstrekkeleg for lågtemperatur varmeanlegg, som for Medbroen gardsbarnehage, men litt knapt til tappevassoppvarminga.

EUs F-gassforordning setter krav til regelmessig, uavhengig lekkasjekontroll på anlegg med meir enn 3 kg fylling. Dette kravet omfattar altså ikkje dette mindre anlegget, som berre har 1,8 kg fylling. Dersom det skulle verte ein lekkasje på dette anlegget slik at arbeidsmediet lek ut, vil det likevel som følgje av høg GWP-verdi føre til eit klimagassutslepp tilsvarande 3 762 kg CO₂. Frå 2015 av vart det satt restriksjonar for volumet av HFK-gassar på den europeiske marknaden, og innan 2030 skal mengda fasast ned til 1/5 av salet i 2014. Dette og dei andre tiltaka i F-gassforordninga er venta å redusere klimagassutsleppa frå F-gassar i EU med 2/3 i 2030, samanlikna med 2014-nivåer. Dette vil vere mogleg til relativt låge kostnader, sidan det er tilgjengeleg mange miljøvenlege alternativ for mange av produkta der F-gassane blir brukt i dag. (European Comission, 2017)

Dei første arbeidsmedia som vart brukt i varmepumper var naturlege medium (ammoniakk, hydrokarboner og CO₂). Sidan desse krevjar enkelte sikkerheitstiltak, vart det utvikla syntetiske medium, som seinare viste seg å vere skadeleg både for ozonlaget og klimaet. Etter ein lengre periode med ulike syntetiske medium, er ein begynt å gå tilbake mot naturlege medium. Denne utviklinga er illustrert i Figur 51.



Figur 51 Utviklingsperspektiv for arbeidsmedium for varmepumper. (Stene, 2017a)

Naturlege arbeidsmedium har betre varmevekslingsegenskapar enn dei syntetiske arbeidsmedia og anlegg som nyttar dei oppnår på generell basis høgare COP. Dømer på naturlege arbeidsmedium er propan (R290), ammoniakk (R717) og CO₂ (R744). Av desse er det propan som ville passa best for dette anlegget som eit miljøvenleg alternativ, i staden for ei varmpumpe med R410A. Ammoniakk passar best i større anlegg, medan CO₂ som er utmerkt for tappevassoppvarming men ikkje fullt så god til romoppvarming, ville dermed passa betre i ein annan bygningstype med større varmtvassbehov. Desse arbeidsmedia står ovanfor andre utfordringar enn HFK-gassane, sidan ammoniakk er giftig, medan propan og andre hydrokarbonar er brennbare, og desse krevjar dermed enkelte sikkerheitstiltak. Det tryggaste for framtidige anlegg vil uansett vere å velje naturlege arbeidsmedium, sidan det vil førekome meir restriksjonar for HFK-gassar i tida framover.

Propan kan levere varme ved noko høgare temperatur enn R410A (maks utgåande vass temp. 50-60 °C med standard utstyr), har ein GWP lik 4 og er dermed ikkje underordna F-gassdirektivet. Anlegg med propan har litt høgare investeringskostnad enn HFK-anlegg, men har til gjengjeld lengre levetid og høgare COP. Sidan propan er brennbart, ville det også vore nødvendig med enkelte sikkerheitstiltak, om det skulle blitt brukt på dette anlegget. Dømer på dette kan vere:

- Låg fyllingsmengde
- Lekkasjesikkert anlegg med omsyn på design og drift
- Innkapsling av elektrisk utstyr (for å hindre antenning)
- Lekkasjedetektor på golvnivå (propan er tyngre enn luft) og alarmsystem
- Uavhengig feilsikkert ventilasjonssystem, med avtrekk frå golvnivå
- Avlastningsvegg og avgrensa område utanfor teknisk rom (Stene, 2017a)

Ein anna moglegheit kunne vore eit anlegg med R32, eit relativt nytt arbeidsmedium som er utvikla som ein erstatning for R410A. Dette har 20 % høgare volumetrisk varmekapasitet og kan dermed ha lågare fyllingsmengde. Bruken av dette arbeidsmediet er likevel berre ein midlertidig løysing, sidan den har GWP lik 675 (Danfoss, 2014), noko som er rundt 1/3 av verdien til R410A, men framleis er relativt høgt. Til samanlikning har propan ein GWP-verdi som er 169 gongar lågare.

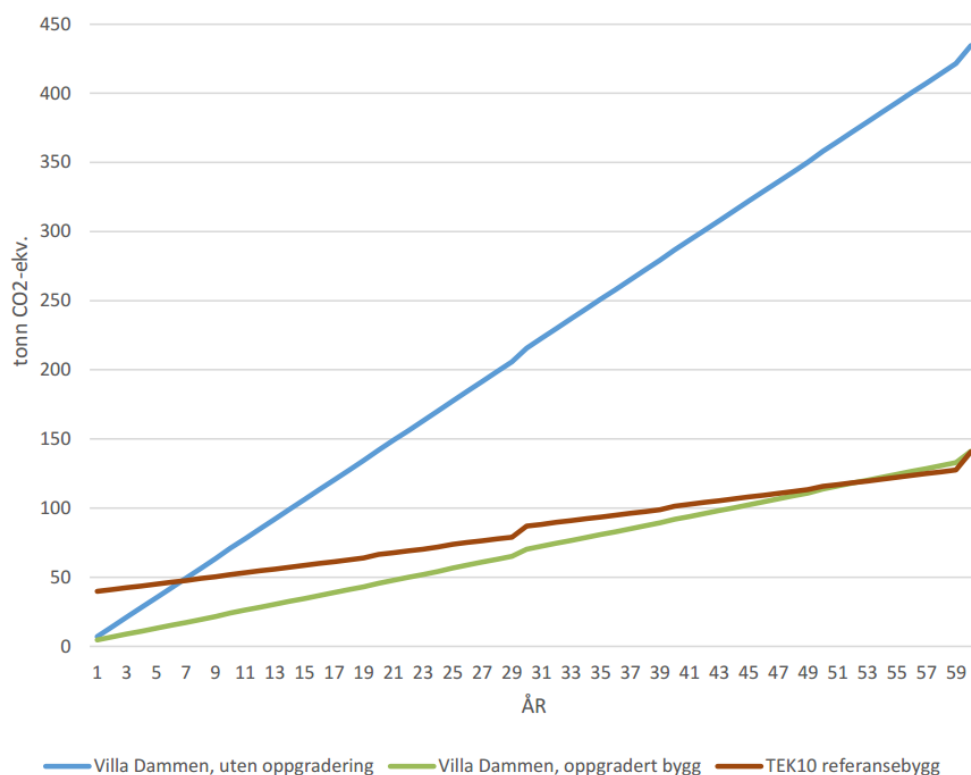
8.3 Rehabiliterer eldre bygg eller bygge nytt?

I 2016 skreiv Asplan Viak på oppdrag frå Riksantikvaren ein rapport der dei utførte klimagassberekningar for oppgradering av ein einebustad i Moss. Rapporten tok føre seg klimagassberekningar for tre tilfelle, der den samanlikna oppgraderingsprosessen med vidare drift av bustaden utan endringar og oppføring av eit nytt standard bustadhus. Den opphavlege bustaden vart oppført i 1936 og oppgradert i 2014/2015, men ikkje i tråd med dei tradisjonelle tiltaka for å redusere energibruk og klimagassutslepp. (Fuglseth, 2016) Årsaka var spesielt høge kostnader forbundet med etterisolering av ytterveggar, og at ein ville bevare det originale uttrykket til huset. Det vart samtidig poengtert at målet med energisparing var å redusere klimagassutsleppa, ikkje berre å spare for sparingas skuld. Energiforbruket vart redusert frå 427 kWh/(m²·år) til 287 kWh/(m²·år) etter oppgraderinga. Til samanlikning ville eit bygg etter TEK 10 hatt eit forbruk på 108 kWh/(m²·år). (Seehusen, 2017)

Dei gjennomførte tiltaka for dette bygget omfatta blant anna isolering mot loft og grunn, oppussing av vindauge og lufttetting. I tillegg vart parafinomn, elektriske panelomnar og ei

luft/luft varmepumpe erstatta med ein vedfyrt masseomn med to tonn teglstein for varmelagring. Omnen står for all romoppvarming og forvarmar i tillegg varmt tappevatn ved hjelp av innlagde vassrøyr. Det forvarma vatnet blir sendt til ein 300 liters isolert tank som held ca. 30 °C, og som leverer vatn vidare til varmtvassberedaren. Riksantikvaren peikar på at eksisterande hus er ein stor ressurs sidan dei allereie er bygd, og at klimagassutsleppa for materialproduksjon, transport og bygging dermed er unnagjort, men at det likevel er viktig å rehabilitere eldre bygg grunna høgare energibruk. (Seehusen, 2017)

Dersom målet er reduksjon av klimagassutslepp bør ein i tillegg til energibruk også inkludere klimagassutslepp frå materialbruk og liknande. Figur 52 viser resultatane for klimagassberekningane for dei tre ulike tilfella.

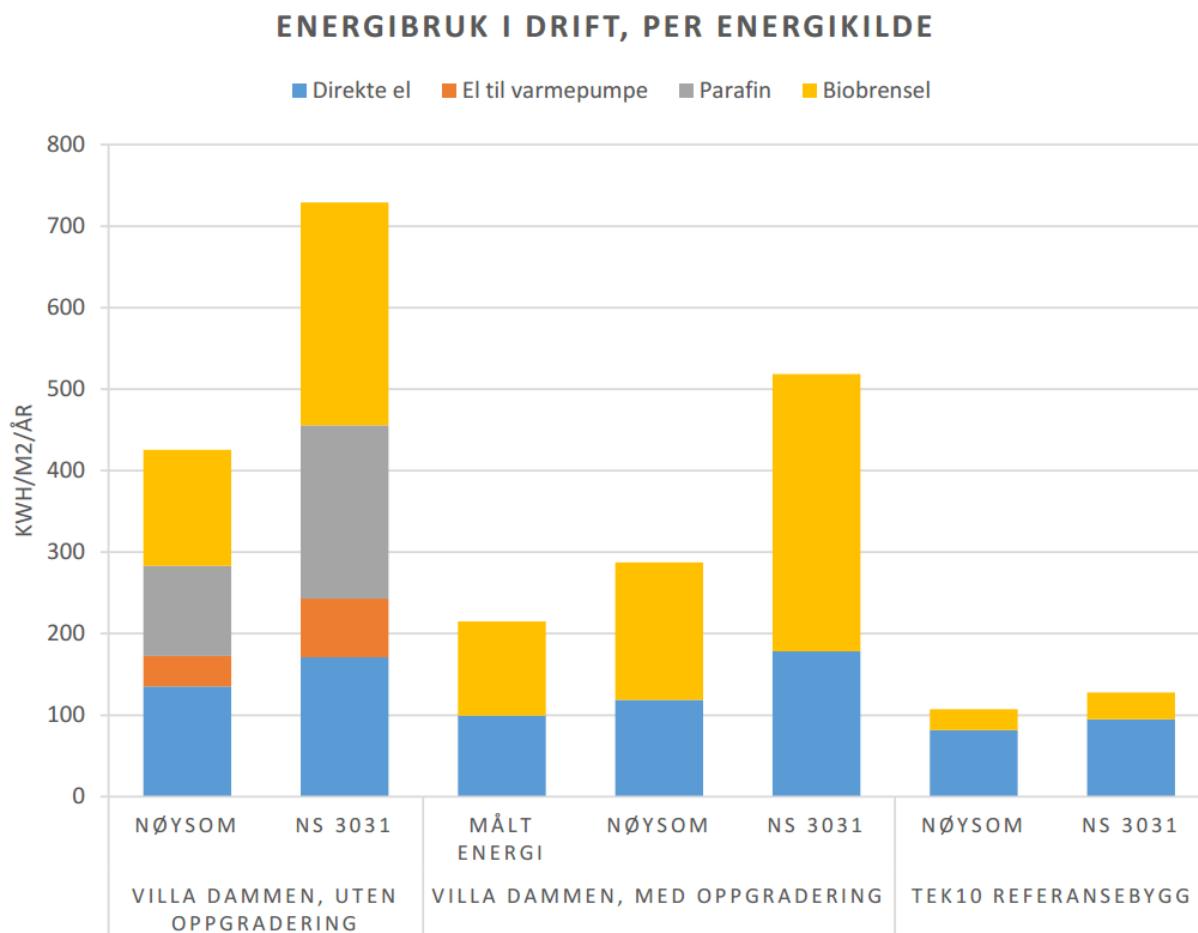


Figur 52 Samanlikning av akkumulerte klimagassutslepp over 60 år for dei tre ulike modellane. (Fuglseth, 2016)

Resultata viser at vidare drift av bygningen utan endringar kjem klart dårlegast ut, som følge av svært høgt energiforbruk. Tiltaka for det rehabiliterte bygget gav stor reduksjon i klimagassutslepp frå energibruk, utan å føre til høge utslepp frå materialbruk. Desse tiltaka hadde ein «nedbetalingstid» på berre seks månadar, samanlikna med utsleppa for bygget dersom ingenting vart gjort. Tilsvarande var nedbetalingstida for nybygget om lag seks år, til trass for klimagassutsleppa forbundet med materialbruken.

Ved å samanlikne det oppgraderte bygget med riving og påfølgjande nybygg etter dagens forskrifter, kan ein sjå at det nye huset først ville gitt lågare klimagassutslepp etter 52 år, til trass for lågare energibruk. Årsaka er knytt til betydelege utslepp frå byggeprosessen, inkludert materialproduksjon, transport og bygging. Dersom det nyttast ein annan berekningsmodell som inkluderer CO₂-utslepp frå forbrenning av biomasse og samtidig tar omsyn til midlertidig lagring av CO₂ i trematerialar, så ville tida det tar før det blir meir klimavenleg å bygge nytt blitt redusert frå 52 til rundt 20 år.

Denne rapporten gjeld riktig nok bustadar og berre eit enkelt bygg, men resultatane kan tenkjast å vere overførbare til andre bygningstypar. Det er også ein del usikkerheit forbundet med livssyklusanalysar, men med det auka fokuset på klimagassutslepp, EPD-ar og liknande vil kompetansen på området auke og usikkerheita etter kvart reduserast. For å ta omsyn til brukaråtferd, som er avgjerande for energibruken i bustadar, vart det også brukt ein berekningsmodell Husbanken har utarbeida for «nøysame brukarar», i staden for NS 3031. Som ein kan sjå på Figur 53, var målt energibruk framleis lågare enn for denne modellen, som igjen var langt lågare enn energibehov berekna etter standard føresetnadar i NS 3031. Erfaring viser og at moderne nybygg ofte har høgare energibruk enn berekna etter same standard. (Seehusen, 2017)



Figur 53 Samanlikning av levert energi til drift av bustaden med og utan oppgradering, samt i forhold til TEK 10, ved ulike berekningsmodellar. (Fuglseth, 2016)

Riksantikvaren er også kritisk til at Enova berre gir støtte til omfattande oppgraderingar, og peikar på at støtte til mindre, enklare og rimelegare tiltak kunne ført til mykje energisparing og kutt i klimagassutslepp frå eldre bygningar. Riksantikvaren foreslår også eit nytt regelverk, som ser på utslepp i staden for berre energibruk, samt moglegheit for å kompensere høgare energibruk i eldre bygg med lokal, miljøvenleg energi. (Seehusen, 2017)

Dei siste åra har det blitt eit auka fokus på livssyklusanalysar i byggebransjen, med EPD-ar (Environmental Product Declaration) for materialar, samt forskingsprogramma ZEB (Zero Emission Buildings) og ZEN (Zero Emission Neighborhoods). Kanskje klimagassutslepp eller ein kombinasjon av energibruk og klimagassutslepp burde bli den nye standarden i framtidige

byggeforskrifter? I tillegg til eventuelle økonomiske besparingar er vel målet med å redusere energibruken til sjuande og sist å redusere klimagassutsleppa.

Medbroen gardsbarnehage vart rehabilitert til passivhusstandard, noko som var ein omfattande rehabilitering og dermed vart relativt kostbart. Det er ikkje utført livssyklusanalysar for dette bygget, men det vil truleg føre til svært gode resultat over tid. Felles for Medbroen gardsbarnehage og einebustaden var at begge ville bevare uttrykket til bygget, samtidig som dei møter framtida på ein god måte. Prosjektet med einebustaden viser at ein også kan oppnå gode resultat ved å utføre mindre og meir kostnadseffektive tiltak for å redusere klimagassutsleppa. Sjølv om prosjektet på Medbroen er eit veldig bra klimatiltak, er det nok ikkje realistisk at ein vil gå like langt for alle eldre bygningar. Då kan det vere betre å legge til rette for moderate tiltak for fleire bygningar for å redusere klimagassutsleppa frå den eksisterande bygningsmassen.

9 Konklusjon

Det vart avdekka fleire feil ved varmesystemet på Medbroen gardsbarnehage, blant anna i samband med varmeopptakssystemet, regulering av varmpumpe i forhold til romoppvarming og tappevassoppvarming, samt regulering av spisslasta. Desse problema har ført til låg COP for varmpumpe, samt betydeleg bruk av spisslast som har auka driftskostnadane. Som følgje av desse feila og basert på foreløpig analyse av måledata, vurderast varmesystemet til å ha fungert relativt dårleg. Det må derfor utførast enkelte forbetringstiltak for å oppnå det fulle potensialet for energisparing og økonomisk drift av anlegget.

Prosjekteringsfasen burde i tillegg vore gjennomført etter prinsippet for integrert design, slik at komponentane i varmesystemet hadde blitt meir samkøyrtd. Dette ville ført til betre regulering og energioppfølging frå starten av. Sidan det har vore så mykje problem med varmesystemet, har det spesielt vore ein stor svakheit at det ikkje har vore mogleg å overvake varmpumpe. Dette ville gjort det mogleg å oppdage og utbetre feila på eit tidlegare stadium. Volumstraumen gjennom dei fire termiske energimålarane i varmesystemet bør også loggast, for å få betre innsikt i drifta av varmesystemet for framtidig analyse og optimalisering.

Det faktum at graveentreprenøren øydela jordkolektorane ved montasje har ført til omfattande problem med anlegget, slik at varmeuttaket frå kolektorane har vore vesentleg lågare enn det burde. Dette har ført til auka energibruk for varmesystemet, samt behov for fleire utbetringar i løpet av dei to første driftsåra. Dette viser viktigheita av å nytte entreprenørar som har relevant erfaring ved montering av kolektorslangar.

Det vart oppdaga hyppige temperatursvingingar i varmesystemet, som kom av at varmpumpe vekslar ofte mellom romoppvarmingsmodus og tappevassmodus, samt at veksellentilen mangla ein skrue slik at det lak over varmt vatn mot romoppvarmingssystemet då varmpumpe var i tappevassmodus. Periodane der varmpumpe gjekk i tappevassmodus krasja ofte med periodane der romoppvarmingsbehovet var størst, slik at det vart stor bruk av spisslast for å levere tilstrekkeleg varme då den skifta tilbake til romoppvarmingsmodus. Denne reguleringa av varmpumpe er ikkje hensiktsmessig for dette anlegget, då romoppvarmingsbehovet er vesentleg høgare enn behovet for varmt tappevatn.

Problema med vekslinga mellom romoppvarming- og tappevassmodus kunne vore unngått ved å nytte ei varmpumpe med overhettingsvarmevekslar, slik at den kunne levert varme til både romoppvarming og varmt tappevatn samtidig. For eksisterande varmpumpeløysing bør det vere timeplanbasert oppvarming av tappevatn i staden for oppvarming etter Reheat-prinsippet. Dette må ikkje kollidere med varmebehovet til golvvarmeanlegget eller varmbatteriet til ventilasjonsanlegget, og bør derfor fortrinnsvis skje på kveldstid. Dette vil redusere energidekningsgraden til varmpumpe for oppvarming av varmt tappevatn, men vil auke energidekningsgraden for romoppvarminga, som er det dominerande varmebehovet. I tillegg vil det redusere bruken av spisslast og dermed gje lågare driftskostnader.

Det er vald ein ugunstig utforming av akkumuleringstanken til dette anlegget, både med omsyn til omrøring, temperatursjikting, samt plassering av elkjel. Denne bør bytast ut med ein ny akkumuleringstank med tre kopleingspunkt i staden for fire. Den kan gjerne vere høgare og med større volum for å oppnå betre temperatursjikting, samt for å kunne lagre meir energi medan varmpumpe er i tappevassmodus. I tillegg må spisslasta plassert i toppen av tanken, nærast

mogleg turrøyret vidare til golvvarmeanlegget og varmebatteriet, for å unngå at den varmar opp returvatnet til varmpumpa og dermed reduserer COP.

Elkjelen i akkumuleringstanken har til no blitt regulert i parallell med trinn 2 av dei elektriske elementa i varmpumpa. Dette har ført til hyppige innkoplingar med høg effekt, både når varmpumpa skiftar tilbake til romoppvarmingsmodus ved høgt romoppvarmingsbehov, men også når varmpumpa treng ekstra effekt til tappevassoppvarming, uavhengig av romoppvarmingsbehovet. Både noverande regulering av spisslasta og planlagd regulering med bivalent drift er ikkje i tråd med metoden spisslaster i varmpumpesystem skal regulerast etter. Spisslasta skal berre bidra til det resterande temperaturløftet varmpumpa ikkje greier å levere til varmesystemet, og skal vere innkopla i tillegg til varmpumpa, ikkje på eiga hand slik den vil bli regulert etter prinsippet om bivalent drift. Det bør søkjast etter å finne ei løysing der spisslasta blir kopla i serie med varmpumpa og først kan slå inn då varmpumpa allereie går på full kapasitet.

Dersom dette ikkje er mogleg, vil ein kombinasjon av dei to reguleringsformene vere betre enn å berre nytte ein av dei. I så fall bør eksisterande reguleringsform nyttast i vinterhalvåret og bivalent drift i sommarhalvåret. Ved bivalent drift i sommarhalvåret vil ein unngå at elkjelen slår inn ved høge utetemperaturar, samt i samband med tappevassoppvarminga. Ved opphavleg regulering av elkjelen i parallell med trinn 2 i varmpumpa, vil varmpumpa kunne køyrast for fullt i tillegg til elkjelen på dei kaldaste dagane. Denne løysinga med å kombinere reguleringsformene er ikkje optimal, og er berre meint som ein reserveløysing.

Målt energibruk har også vore høgare enn dei prosjekterte verdiane, spesielt for varmebatteriet i ventilasjonsanlegget. Dette, samt dei andre tiltaka i vidare arbeid bør undersøkjast nærmare for å redusere energibruk og driftskostnader til eit minimum, samt oppnå optimal drift av anlegget. Til trass for problema med varmesystemet er dette prosjektet eit eksepsjonelt klimatiltak, og etter dei føreslegne forbetringane er gjennomført er det venta å bli eit velfungerande anlegg.

10 Forslag til vidare arbeid

10.1 Analyse av driftsresultat etter endringane

Etter dei tilråda endringane bør det utførast ei ny analyse av driftsresultata, etter anlegget har vore i drift i minimum eit fullt kalenderår. Her bør det og utførast normalårskorrigerings, for å ta omsyn til variasjonar i klima. Først då kan ein kontrollere om energi- og effektbruken tilsvarar dei prosjekterte verdiane.

Kvalitetssikringa av målesystemet vart noko forenkla i denne rapporten. Det var i byrjinga planlagd å berekne totalt måleavvik for ulike målingar som varmeeffekt, COP, osv., basert på målenøyaktigheita til utstyret. I samråd med vegleiar vart det avgjort å ikkje bruke tid på dette, då dei foreløpige måleresultata frå anlegget ikkje er representative for anlegget under normal drift. Etter problema med anlegget er blitt utbetra bør dette gjerast dersom det skal utførast vidare analyser av anlegget.

Dersom varmepumpa kan overvakast i SD-anlegget med historikk, bør det utførast ei grundigare analyse av sjølve drifta til varmepumpa. Då vil ein kunne utføre ei meir nøyaktig analyse av varmeyting og COP enn det var mogleg å gjere basert på energimålarane lenger ute i varmesystemet. Start/stopp-frekvens er og noko som bør følgjast med på etter dei føreslegne utbetringane. I tillegg kunne ein undersøkt ulike delar av varmepumpeprosessen i praksis og samanlikna med teoretiske prosessar i berekningsprogram som til dømes CoolPack.

Som følgje av omfattande feilsøking i forbindelse med temperatursvingingar i varmesystemet, var det ikkje tilstrekkeleg tid til å gjennomføre mindre undersøkingar for å optimere drifta av varmeanlegget. Dømer på dette kan vere å:

- Undersøkje energisparepotensial knytt opp til bruk av feriemodus for varmepumpa. Dette kan vere eit enkelt tiltak for å redusere energibruken, dersom bygget står tomt delar av året (juletider, påske, sommarferie, osv.).
- Undersøkje varmetap frå røykopingar og røyrføringar for å minimere dette. Teknisk rom held ein relativt stabil temperatur rundt 23-25 °C, og ved ein av synfaringane vart det observert høge overflatetemperaturar på enkelte av røykopingane og røyrføringane ved bruk av termokamera. Grunna større problem med anlegget vart det komme fram til å ikkje bruke tid på denne analysen. Dette er ikkje eit vesentleg problem, sidan det er eit lågtemperaturanlegg, men isolering av dei varmaste røykopingane vil føre til noko høgare energisparing.

10.2 Analyse av ventilasjonssystem

I denne rapporten var fokuset på varmesystemet, og det vart derfor ikkje utført noko grundig analyse av ventilasjonssystemet. Det vart likevel observert at det går svært mykje energi til ventilasjonsvarme, og med meir tid til rådighet ville dette blitt undersøkt nærmare. Etter samtale med spesialrådgjevar for energi for bygget (Marit Kindem Thyholt) og foreløpig analyse er det føreslått å undersøkje følgjande parametarar:

- Målt effektivitet for varmegjenvinnaren. Dokumenterte verdiar er oppnådd i laboratorium og tekniske installasjonar fungerer ofte dårlegare i praksis. Dette er ikkje nødvendigvis fordi produktet er dårleg og eventuelle feil kan ligge i sensorplassering og liknande.

- Er innblåsingstemperatur lik prosjektert verdi (19 °C)? Dersom denne er høgare vil energibruken auke.
- Er luftmengdene (både i driftstid og utanfor driftstid) i høve til prosjekterte verdiar? Høgare luftmengder gir auka oppvarmingsbehov.
- Er alle sensorane korrekt plassert? Er det god kvalitet på sensorane? Her er mange fallgruver. Powerhouse Kjørbo som er blitt omtalt som verdas mest energieffektive kontorbygg viste seg å ha mange feilplasserte sensorar, samt sensorar av dårleg kvalitet.
- Er det nokon utettheitar eller lekkasjar i ventilasjonsaggregatet?
- Styrast VAV på korrekt måte?
- Har det blitt skifta filter og generelt følgt rutinar for drift og vedlikehald?
- Er reguleringa av pumpa på teknisk rom forrigla mot reguleringa av trevegsventilen?
- Er energimålaren påliteleg og gir reelle verdiar?

10.3 Plassering av varmeopptakssystemet

Under arbeidet med masteroppgåva var det mistanke om at jordkolektorane vart lagt for tett ved montasje, og dermed hentar varme frå eit mindre jordvolum enn dei skulle etter spesifikasjonane frå COWI. Dersom dette er tilfelle vil det vere svært uheldig for kolektorane, då dei vil hente varme frå eit relativt lite jordvolum med avgrensa varmekapasitet og dermed oppnå eit lågare varmeuttak. Dette vil redusere brinetemperaturen, og dermed også fordampningstemperaturen, slik at varmepumpa oppnår lågare COP og energisparing.

I spesifikasjonane for varmeopptakssystemet (Stene, 2014a) stod det følgjande:

«Leggedybde – Uisolerte kolektorslanger i varmeopptaksområdet skal graves ned på ca. 1,2-1,5 meters dybde og med *minimum* 1,5-2 m CC-avstand (innbyrdes avstand). Isolerte kolektorslanger under gårdsplass og vei legges på minimum 1 meters dybde.»

Det finnast ingen bilete eller annan dokumentasjon frå monteringa, og for slikt arbeid burde entreprenøren tatt bilete av plasseringa til kolektorane før grøftene vart lukka. Basert på kartet i Figur 10, samt synfaringar på staden, kan det verke som at området er for smalt til å oppnå tilstrekkeleg innbyrdes avstand mellom kolektorane. Det var ikkje mogleg å påvise at kolektorane ligg for tett under arbeidet med masteroppgåva.

Sidan kolektorane er lagt i tilknytning til elva, og det i tillegg er gode jordforhold, som skildra i kapittel 6.5, kan det likevel vere tilstrekkeleg varmeuttak for kolektorane til trass for at dei skulle vere plassert med lågare senteravstand enn det vart spesifisert. Grunna andre problem med kolektorsystemet som følgje av framandlekamar og lågt trykk, samt andre feil ved anlegget, er det ikkje mogleg å gjere ein vurdering av dette basert på foreløpig COP. Dersom denne etter utbetringa av innreguleringsventilane framleis er lågare enn spesifikasjonane frå varmepumpeleverandør bør dette undersøkjast nærmare.

Referanseliste

- Anda, S. & Bjelland, A. S. H. 2013. *Fra passivhus til plusshus. Tverrfaglig planlegging av energieffektive boliger.*
- Aune, K. A. 2014. *Medbroen Gårdsbarnehage renoverer* [Online]. Stjørdals-Nytt. Tilgjengelig fra: <http://stjordalsnytt.no/index.php/stjordal/sentrum/item/5988-medbroen-gardsbarnehage-renoverer> [Lest 15.02 2017].
- Daikin 2013. Installer reference guide - Daikin Altherma ground source heat pump.
- Daikin 2014. Produktark grunnvarmepumpe.
- Daikin 2015. Product catalogue 2015 - Heating.
- Daikin Europe N.V. Modbus Interface RTD.
- Daikin Europe N.V. 2015. Daikin Altherma ground source heat pump EGSQH-A9W.
- Danfoss 2014. The countdown to R32 has begun! www.danfoss.com.
- Direktoratet for Byggkvalitet 2011. Veiledning om tekniske krav til byggverk.
- Direktoratet for Byggkvalitet. 2016a. *Byggteknisk forskrift (TEK10)* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.dibk.no/no/byggeregler/tek/> [Lest 11.10 2016].
- Direktoratet for Byggkvalitet. 2016b. *Kapittel 14 ENERGI § 14-4. Krav til løsninger for energiforsyning* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.dibk.no/no/byggeregler/tek/3/14/14-4/> [Lest 11.10 2016].
- Energimerking. 2009a. *Karakterskalaen* [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/om-energimerkesystemet-og-regelverket/karakterskalaen/> [Lest 1.11 2016].
- Energimerking. 2009b. *Om energimerkeordningen* [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/om-energimerkesystemet-og-regelverket/> [Lest 1.11 2016].
- Energimyndigheten. 2014. *Bergvärmepumpar* [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.energimyndigheten.se/tester/tester-a-o/bergvarmepumpar/bergvarmepumpar/> [Lest 20.05 2017].
- Enoco As. 2017. *Enoco Cloud (EOS)* [Online]. Tilgjengelig fra: <http://89.151.251.98:3319/login> [Lest 18.05 2017].
- Enoco Itb Brukermanual enoco EOS.
- Enova. 2014. *Kort om Enovas formål og rammer* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/om-enova/36/0/> [Lest 1.11 2016].
- European Commission. 2017. *EU legislation to control F-gases* [Online]. Tilgjengelig fra: https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/legislation_en [Lest 06.06 2017].

- Folkehelseinstituttet. 2016. *Spørsmål og svar om legionella* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/sv/smittsomme-sykdommer/legionella/sporsmal-og-svar-om-legionella/> [Lest 04.06 2017].
- Fuglseth, M. 2016. Klimagassberegninger Villa Dammen. Riksantikvaren: Asplan Viak AS.
- Havellen, V. 2016. "Vannbåren varme i nye bygninger blir en saga blott". *Teknisk Ukeblad*.
- Hustad, A. 2017. Mailutveksling med Enoco AS. I: RØNNESETH, Ø. (red.).
- Jensen, I. S. 2017. *Været som var (detaljert) Stjørdal (Nord-Trøndelag)* [Online]. Meteorologisk institutt, NRK. Tilgjengelig fra: https://www.yr.no/sted/Norge/Nord-Tr%C3%B8ndelag/Stj%C3%B8rdal/Stj%C3%B8rdal/detaljert_statistikk.html [Lest 18.05 2017].
- Lie, Ø. 2013. *Enova dropper støtten til passivhus* [Online]. Teknisk Ukeblad. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/enova-dropper-stotten-til-passivhus/235241> [Lest 06.05 2017].
- Norsk Vvs. 2017. *Varmepumpemarkedet opp 12 prosent* [Online]. Norsk VVS. Tilgjengelig fra: <http://www.norskvvs.no/varme-kjoling/varmepumper/varmepumpemarkedet-opp-12-prosent/> [Lest 15.02 2017].
- Nte 2017. Nettleiepriser 2017 - for næring og offentlige virksomheter.
- Rosenberg, E. 2013. Energieffektivisering i bygninger - norske potensialstudier. Institutt for energiteknikk.
- Schild, P. G. & Hestad, T. 2002. Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg. *BKS 552.340*. SINTEF Byggforsk.
- Seehusen, J. 2017. *Energibruken og klimagassutslippene er kraftig redusert - men huset fra 1936 har fortsatt uisolerte vegger* [Online]. Teknisk Ukeblad. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/energibruken-er-kraftig-reduert-men-huset-fra-1936-har-fortsatt-uisolerte-vegger/383245> [Lest 06.06 2017].
- Standard Norge 2012. NS 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger. www.standard.no.
- Standard Norge. 2017. *NS 3935 - ITB-standarden* [Online]. Tilgjengelig fra: http://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2017/ns-39352011---integreerte-tekniske-bygningsinstallasjoner-itb/?gclid=Cj0KEQjwrYbIBRCgnY-OluOk89EBEiQAZER58toQ86Bh-O-Joj_IFT3ZMBD5ep_z5UNG4HvQChf_1E0aAszU8P8HAQ [Lest 28.05 2017].
- Stene, J. 2014a. Varmeopptakssystem (kollektorsystem) for varmepumpeanlegg. COWI AS.
- Stene, J. 2014b. Varmepumpesystem - overordnet beskrivelse. COWI AS.
- Stene, J. 2016a. Termodynamikk for varmepumpeprosessen. TEP 4260 Varmepumper for bygningsklimatisering: NTNU.

- Stene, J. 2016b. Varmekilder for varmepumper. TEP 4260 Varmepumper for bygningsklimatisering: NTNU.
- Stene, J. 2016c. Varmepumper i passivhus - Yrkesbygg. TEP 16 Heat Pump Technology: NTNU.
- Stene, J. 2017a. Arbeidsmedier (kuldemedier) for varmepumpeprosessen. TEP 4260 Varmepumper for bygningsklimatisering: NTNU.
- Stene, J. 2017b. Mailkorrespondanse og møter. I: RØNNESETH, Ø. (red.).
- Stene, J. 2017c. Styring og regulering av varmepumpeanlegg. TEP 4260 - Varmepumper for bygningsklimatisering: NTNU.
- Stene, J. & Havellen, V. 2016. Varmepumper til oppvarming og kjøling i bygninger. *Tipshefte 7. Grønn Byggallianse*.
- Sveistrup, K. 2014. Medbroen barnehage, plan 1. og 2. etg. Top VVS AS.
- Sveistrup, K. 2017. Mailkorrespondanse og møter. I: RØNNESETH, Ø. (red.). Top VVS AS.
- Svingen, H. O. 2017. Mailkorrespondanse og møter. I: RØNNESETH, Ø. (red.). Top VVS AS.
- Systemair 2014. Oversikt for aggregat nr: 1, DVCompactE 40.
- Sørnes, L. 2014. Jubler for praktbygg. *Stjørdalens blad*, 18.09.
- Thyholt, H. K. 2011. *Om Medbroen* [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.medbroen.no/index.php/om-medbroen> [Lest 24.02 2017].
- Thyholt, H. K. 2015a. Støtte til passivhus: Energirapport og sluttrapport for prosjekt. Medbroen Drift AS.
- Thyholt, H. K. 2017. Mailutveksling angående målsetjingar for masteroppgåva. I: RØNNESETH, Ø. (red.). Medbroen Drift AS.
- Thyholt, M. K. 2015b. Dokumentasjon av energiytelse iht. NS 3701 for Medbroen gårdsbarnehage.
- Vvs-Foreningen. 2017. *Varmenormen 2017* [Online]. Kompetansebiblioteket: Skarland press. [Lest 04.06 2017].
- Vvskunnskap. 2017. *Akkumuleringstank i varmeanlegg: Kobling* [Online]. Norsk VVS. Tilgjengelig fra: <http://www.norskvvs.no/sponsor/vvskunnskap/utdrag-rorhandboka-akkumuleringstank-2/> [Lest 02.06 2017].
- Zijdemans, D. 2014. *Varmepumpen bør ikke starte mer enn tre ganger i timen* [Online]. Heidenreich. Tilgjengelig fra: <http://www.heidenreich.no/aktuelt/varmepumpen-boer-ikke-starte-mer-enn/> [Lest 03.06 2017].

Vedlegg

Vedlegg 1 Resultat frå passivhusevalueringa

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot NS 3701	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredstiller krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller ikke minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredstiller minstekrav gitt i NS3701 (tabell A.2)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller ikke alle krav til passivhus

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,08
Varmetapstall tak	0,05
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,06
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,12
Varmetapstall kuldebroer	0,02
Varmetapstall infiltrasjon	0,03
Totalt varmetapstall	0,35
Krav varmetapstall	0,42

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	25,3 kWh/m ²	31,4 kWh/m ²
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m ²	3,7 kWh/m ²
Andel av varmebehovet som dekkes av annet enn direkte el. og fossile brensler	80,0 %	60,0 %
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	4,4 W/m ²	5,0 W/m ²

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,17	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,12	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,84	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,02	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	82	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	1,50
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,12	0,24
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

Energibudsjett (NS 3701)		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	16112 kWh	19,3 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	5149 kWh	6,2 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	8347 kWh	10,0 kWh/m ²
3a Vifter	6613 kWh	7,9 kWh/m ²
3b Pumper	995 kWh	1,2 kWh/m ²
4 Belysning	9567 kWh	11,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	4348 kWh	5,2 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	51131 kWh	61,4 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (NS 3701)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	28341 kWh	34,0 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	8870 kWh	10,6 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	37211 kWh	44,7 kWh/m ²

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	371	
Areal tak [m ²]:	417	
Areal gulv [m ²]:	392	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	115	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	833	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2083	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,17	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,12	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,84	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,8	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,02	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	64	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	82	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	81,7	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	6,04	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,04	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	1,89	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	60	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,8	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	10,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)			
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon	
Driftstid kjøling (timer)	24,0		
Driftstid ventilasjon (timer)	10,0		
Driftstid belysning (timer)	10,0		
Driftstid utstyr (timer)	10,0		
Oppholdstid personer (timer)	10,0		
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	4,40		
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	4,40		
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	2,00		
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	2,00		
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,60		
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00		
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	6,00		
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,20		
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20		
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,82/0,72/1,00/1,00		

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Barnehager
Simuleringsansvarlig	Marit Thyholt
Kommentar	

Vedlegg 2 Detaljerte spesifikasjoner samt røyртеikning for varmepumpa frå installasjonsmanual (Daikin, 2013)

Nominal capacity and nominal input

Indoor unit		Heating only
Condition 1^(a)		
Heating capacity	Minimum	3.11 kW
	Nominal	10.20 kW
	Maximum	13.00 kW
Power input	Nominal	2.34 kW
COP	Nominal	4.35
Condition 2^(b)		
Heating capacity	Minimum	2.47 kW
	Nominal	9.29 kW
	Maximum	11.90 kW
Power input	Nominal	2.82 kW
COP	Nominal	3.29

- (a) Entering water temperature (brine)/leaving water temperature (brine) 0°C/3°C – leaving water condenser 35°C (DT=5°C).
 (b) Entering water temperature (brine)/leaving water temperature (brine) 0°C/3°C – leaving water condenser 45°C (DT=5°C).

Technical specifications

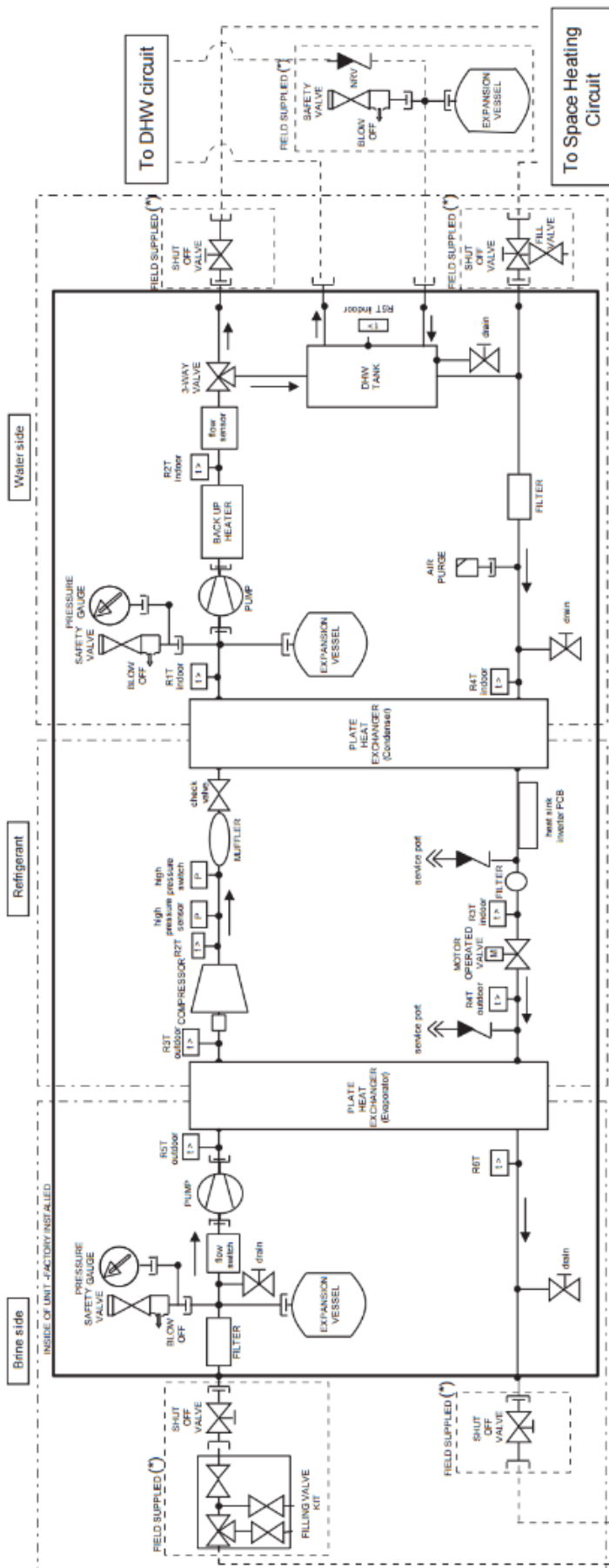
Indoor unit		Heating only
Casing		
Colour	White	
Material	Precoated sheet metal	
Dimensions		
Packing (H×W×D)	1930×700×840 mm ³	
Unit (H×W×D)	1732×600×728 mm ³	
Weight		
Machine weight	210 kg	
Gross weight	222 kg	
Packing		
Material	Wood, carton, PE wrapping foil	
Weight	12 kg	
PED		
Category of unit	Category I	
Most critical part	Compressor	
	Ps*V	135 bar
	Ps*DN	—
Main components		

Water pump	Type		DC motor
	Nr. of speeds		Inverter controlled
	Nominal ESP pump	Heating ^(a)	39 kPa
		Heating ^(b)	46 kPa
Power Input		70 W	
Water side heat exchanger	Type		Brazed plated
	Quantity		1
	Water volume		2.30 l
	Minimum water flow rate		8.0 l/min
	Nominal water flow rate	Heating ^(a)	29.2 l/min
		Heating ^(b)	26.6 l/min
	Maximum water flow rate	Heating	43.0 l/min
Insulation material		Green felt	

Indoor unit		Heating only	
Water expansion vessel	Volume	10 l	
	Maximum water pressure	3 bar	
	Pre-pressure	1 bar	
	Maximum height above unit	1 m	
Water filter	Diameter perforations	1.0 mm	
	Material	Copper + brass + stainless steel	
Brine pump	Type	DC motor	
	Nr. of speeds	3	
	Nominal ESP pump	Heating ^(c)	58 kPa
	Power Input	140 W	
Brine heat exchanger	Type	Brazed plated	
	Quantity	1	
	Brine volume	2.30 l	
	Minimum brine flow rate	25.0 l/min	
	Nominal brine flow rate	Heating ^(c)	40.0 l/min
	Maximum brine flow rate	Heating	54.0 l/min
	Insulation material	—	
Brine expansion vessel	Volume	10 l	
	Maximum brine pressure	3 bar	
	Pre-pressure	1 bar	
	Maximum height above unit	12 m	
Brine filter	Diameter perforations	1.0 mm	
	Material	Copper + brass + stainless steel	
Tank	Water volume	180 l	
	Material	Stainless steel (EN1.4521)	
	Maximum water temperature	60°C	
	Maximum water pressure	10 bar	
	Insulation material	Polyester	
	Corrosion protection	Anode	
	Heat loss ^(d)	1.4 kWh/24 h	
Heat exchanger (tank)	Quantity	1	
	Material	Stainless steel (EN1.4521)	
	Surface	1.9 m ²	
	Internal coil volume	8.9 l	
3-way valve (tank)	Flow factor space heating/tank heating	13/8 m ³ /h	
Safety devices			
Devices	Thermal cut-out / High pressure switch		
Water circuit space heating side			
Piping connections Ø	22 mm		
Safety valve	3 bar		
Manometer	Yes		
Drain valve/fill valve	Yes		
Shut-off valves	—		
Air purge valve	Yes		
Total water volume ^(e)	23.0 l		
Minimum water volume	20.0 l		
Water circuit domestic hot water side			
Piping connections	Cold water in/hot water out Ø	22 mm	
	Recirculation connection	G 1/2" female	
Brine circuit			
Piping connections Ø	28 mm		

Indoor unit		Heating only
Safety valve		3 bar
Manometer		Yes
Drain valve/fill valve		Yes
Shut-off valves		—
Air purge valve		—
Total volume ^(e)		8.0 l
Minimum brine volume		20.0 l
Compressor		
Type		Hermetically sealed swing compressor
Model		2YC63PXD#C
Starting method		Inverter driven
Operation range		
Installation space		5~30°C
Brine side		-5~20°C
Water side	Heating	24~60°C ^(f) / 24~65°C ^(g)
	Domestic hot water	25~55°C ^(f) / 25~60°C ^(h)
Sound power level		
Nominal		46 dBA
Sound pressure level		
Nominal		32 dBA ⁽ⁱ⁾
Refrigerant		
Type		R410A
Charge		1.8 kg
Control		Electronic expansion valve
Nr. of circuits		1
Capacity control method		Inverter controlled

- (a) Entering water temperature (brine)/leaving water temperature (brine) 0°C/3°C – leaving water condenser 35°C (DT=5°C).
(b) Entering water temperature (brine)/leaving water temperature (brine) 0°C/3°C – leaving water condenser 45°C (DT=5°C).
(c) With 40% propylene glycol.
(d) Heat loss according to EN12897
(e) Including piping + plate heat exchanger + backup heater; excluding expansion vessel.
(f) By heat pump.
(g) By heat pump + backup heater.
(h) By backup heater.
(i) The sound pressure level is measured via a microphone at a 1 m distance from the unit. It is a relative value, depending on the distance and acoustic environment.



(*) Depicted is example, for complete installation requirements, refer to installation manual

LEGEND:

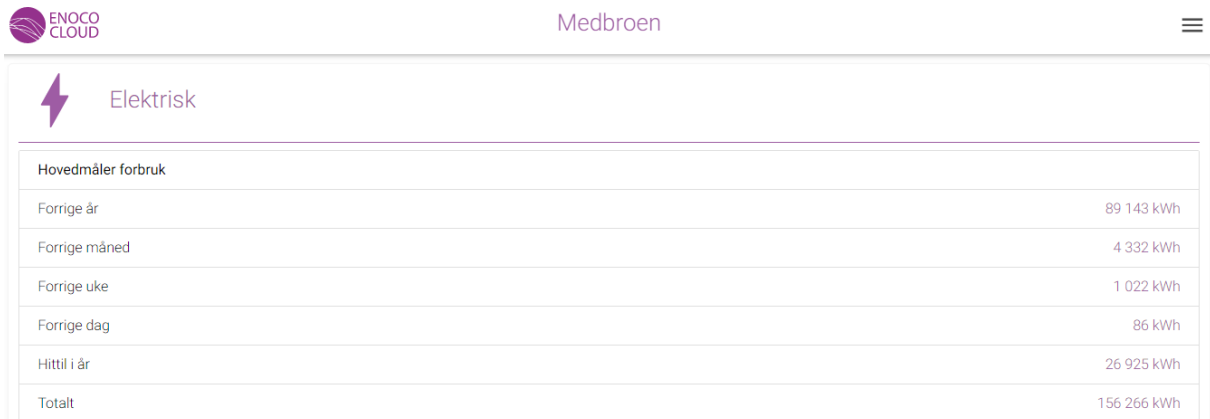
	CHECK VALVE		SCREW CONN
	FLARE CONN		QUICK COUPLING
	SPINNED PPE		FLANGE CONN
	PINCHED PPE		BRAZED CONN

Description sensors	
R1T in	Outlet Water Temperature Sensor (LWC)
R2T in	After BUH Temperature Sensor
R3T in	Refrigerant Liquid Temperature Sensor
R4T in	Inlet Water Temperature Sensor (EWC)
R5T in	DHW/Tank Temperature Sensor
R1T out	Ambient Air Sensor
R2T out	discharge sensor
R3T out	suction sensor
R4T out	2 phase sensor (Tx)
R5T out	brine entering water
R6T out	brine leaving water

Vedlegg 3 Skjermbilete frå EOS-nettside

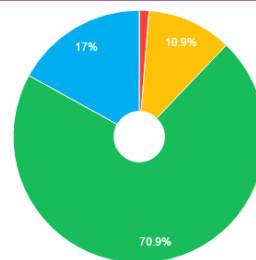
Her er det inkludert skjermbilete frå alle fanane på EOS-nettsida, for å gje ein oversikt over kva data som er mogleg å hente ut. Over bileta står namna på kvar enkelt fane.

Startside



Undermålere

Forbruk hittil i år	
Bereder forbruk	177 kWh
Elkjel/Akkumulator forbruk	1543 kWh
Varmepumpe forbruk	10057 kWh
Ventilasjon elektrisk forbruk	2409 kWh

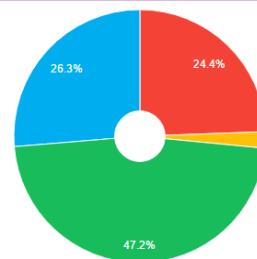


● Bereder forbruk ● Elkjel/Akkumulator forbruk ● Varmepumpe forbruk ◀ 1/2 ▶

⚪ Vannbåren

Undermålere

Forbruk hittil i år	
Gulvvarme forbruk	13020 kWh
Tappevann forbruk	1121 kWh
Varmepumpe produksjon	25134 kWh
Ventilasjon vannbåren forbruk	14028 kWh



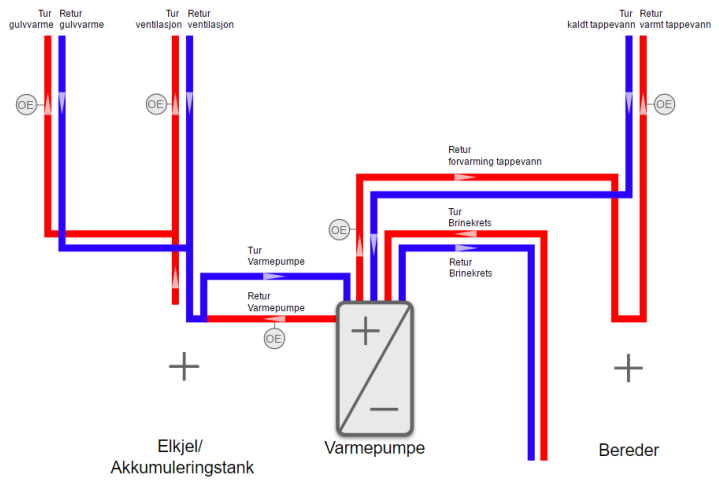
● Gulvvarme forbruk ● Tappevann forbruk ● Varmepumpe produksjon ◀ 1/2 ▶

Topologi



Medbroen

Hovedmåler	Sist uke: 1022kWh
Bereder forbruk	Sist uke: 0kWh
Elkjel/Akkumulator forbruk	Sist uke: 36kWh
Gulvvarme forbruk	Sist uke: 590kWh
Tappevann forbruk	Sist uke: 73kWh
Varmepumpe forbruk	Sist uke: 298kWh
Varmepumpe produksjon	Sist uke: 653kWh
Ventilasjon elektrisk forbruk	Sist uke: 98kWh
Ventilasjon vannbåren forbruk	Sist uke: 85kWh



Forbruksoversikt



Medbroen

Innstillinger

Visning: Stolpe | Linje

Stabelt | Sidestilt

Velg målere: Valgte målere

Vannbåren

- Gulvvarme forbruk
- Bereder forbruk
- Tappevann forbruk
- Varmepumpe produksjon
- Ventilasjon

Elektrisk

- Hovedmåler
- Elkjel/Akkumulator forbruk
- Varmepumpe forbruk

Velg oppløsning:

Måned

Uke

Dag

Time

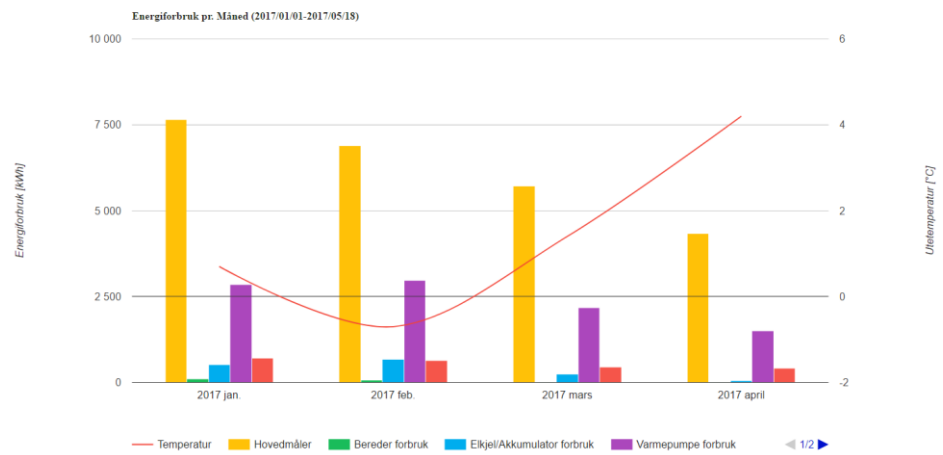
Velg fra dato:

jan 2017

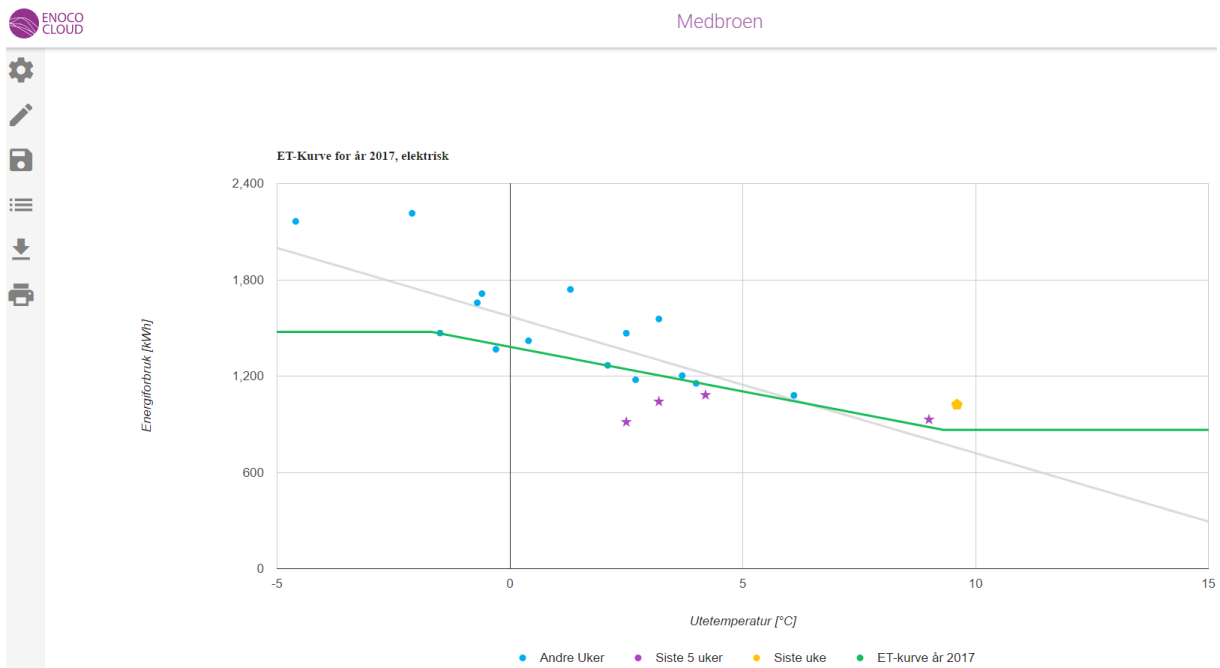
ma ti on to fr la se

1

Oppdater



ET-kurve



Sammenlign



Målere elektrisk

Hovedmåler

Forrige år	89 143 kWh
Forrige måned	4 332 kWh
Forrige uke	1 022 kWh
Hittil i år	26 925 kWh
Totalt	156 266 kWh

Bereeder forbruk

Forrige år	4 571 kWh
Forrige måned	0 kWh
Forrige uke	0 kWh
Hittil i år	177 kWh
Totalt	6 583 kWh

Elkjel/Akkumulator forbruk

Forrige år	15 217 kWh
Forrige måned	53 kWh
Forrige uke	36 kWh
Hittil i år	1 555 kWh
Totalt	16 780 kWh

Varmepumpe forbruk

Forrige år	11 541 kWh
Forrige måned	1 509 kWh
Forrige uke	298 kWh
Hittil i år	10 144 kWh
Totalt	39 661 kWh

Ventilasjon elektrisk forbruk

Forrige år	8 139 kWh
Forrige måned	419 kWh
Forrige uke	98 kWh
Hittil i år	2 452 kWh
Totalt	13 032 kWh

Målere vannbåren

Gulvvarme forbruk

Forrige år	18 870 kWh
Forrige måned	2 900 kWh
Forrige uke	590 kWh
Hittil i år	13 180 kWh
Totalt	39 300 kWh

Tappevann forbruk

Forrige år	297 kWh
Forrige måned	172 kWh
Forrige uke	73 kWh
Hittil i år	1 147 kWh
Totalt	1 456 kWh

Varmepumpe produksjon

Forrige år	42 158 kWh
Forrige måned	4 015 kWh
Forrige uke	653 kWh
Hittil i år	25 293 kWh
Totalt	81 741 kWh

Ventilasjon vannbåren forbruk

Forrige år	39 134 kWh
Forrige måned	1 168 kWh
Forrige uke	85 kWh
Hittil i år	14 028 kWh
Totalt	60 274 kWh

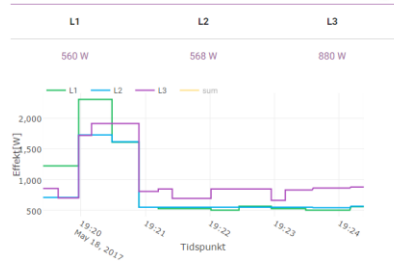
Sanntid

Nettanalysator

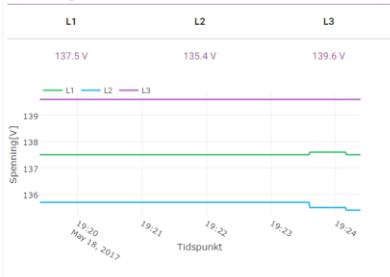
Hovedmåler

Energi 156267.6 kWh
Momentan effekt 2 kW
Frekvens 50 Hz

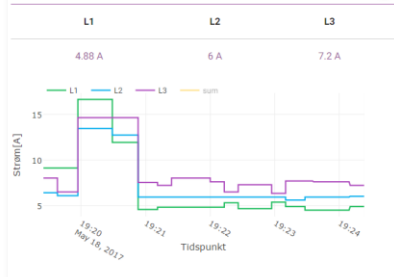
Effekt



Spenning




Strøm



Økonomi

Faktura fordeling						
Tidsperiode	2017-01-01 - 2017-12-31					
Total beløp	0					
Total forbruk	13381 kWh					
Antall målere	4					
Måler	Januar	Februar	Mars	April	Total	Beløp
Bereder forbruk	108	69	0	0	177	0
Elkjel/Akkumulator forbruk	517	681	235	53	1486	0
Varmepumpe forbruk	2858	2966	2170	1509	9503	0
Ventilasjon elektrisk forbruk	700	647	449	419	2215	0


Rullegardinmenyen med oversikt over dei ulike sidene

 medbroen

 Anleggsoversikt

 Alarmer

 Anlegg

 Naviger

Hjem

Topologi


Forbruksoversikt


ET-kurve

Sammenlign

Målere Elektrisk

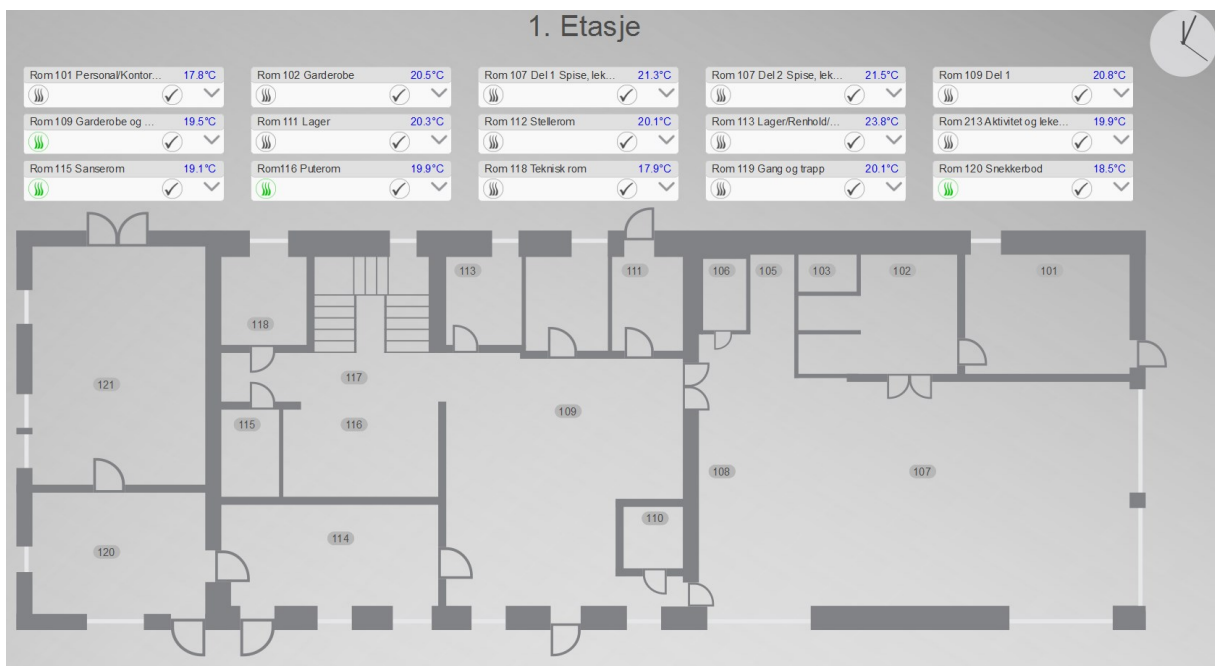
Målere Vannbåren

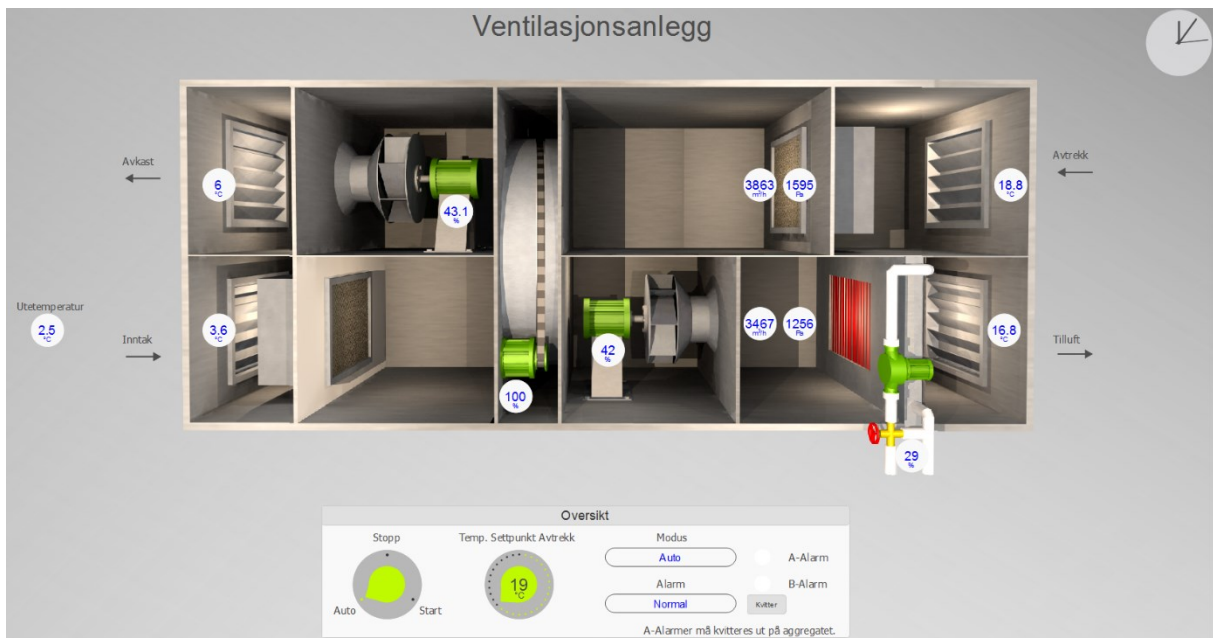
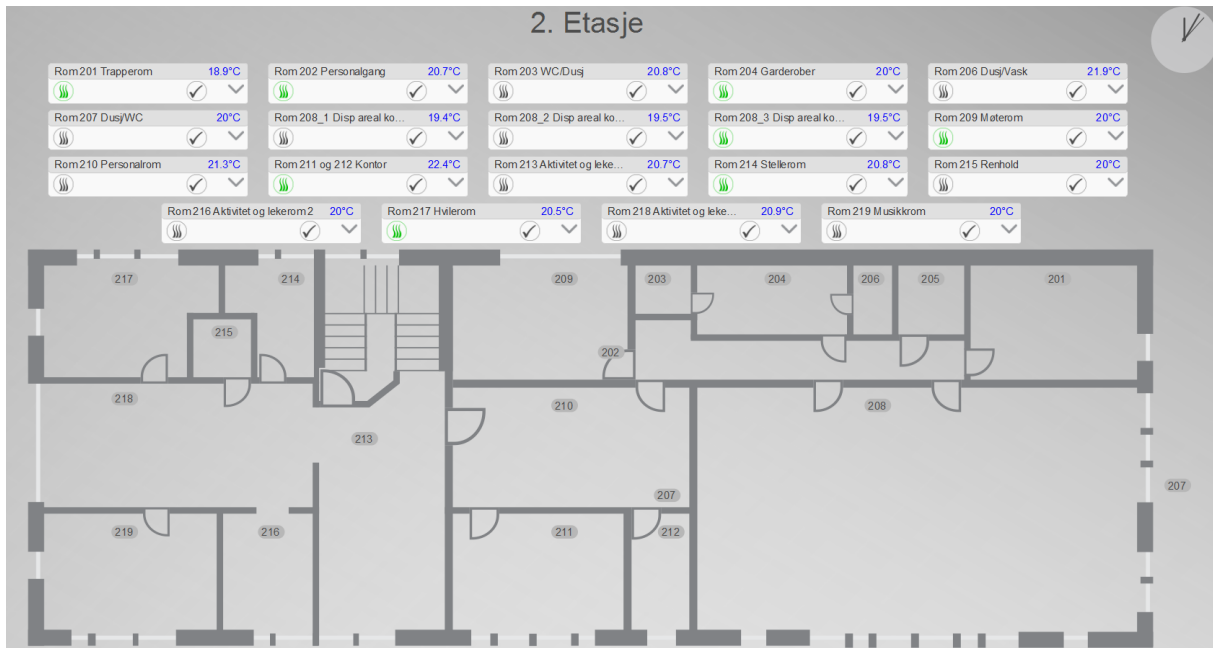
 Sanntid

 Økonomi

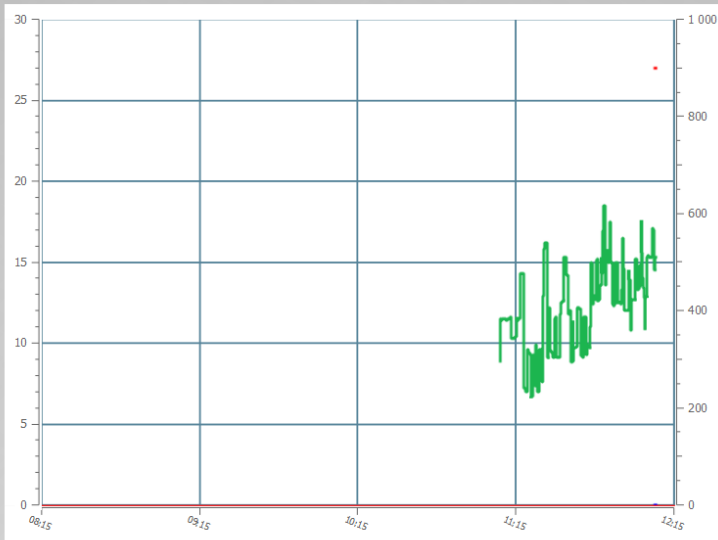
 Informasjon

Vedlegg 4 Skjermbilete frå SD-anlegg





Maksimalvokter



Momentaneffekt Hovedmåler

15.3 kW

Momentaneffekt Elkjel

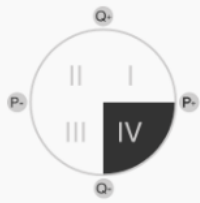
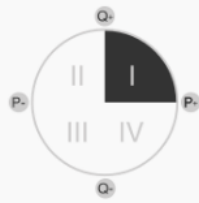
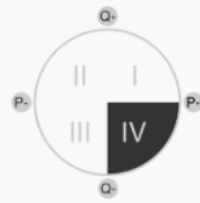
0.0 kW

Effekt-tak settpunkt

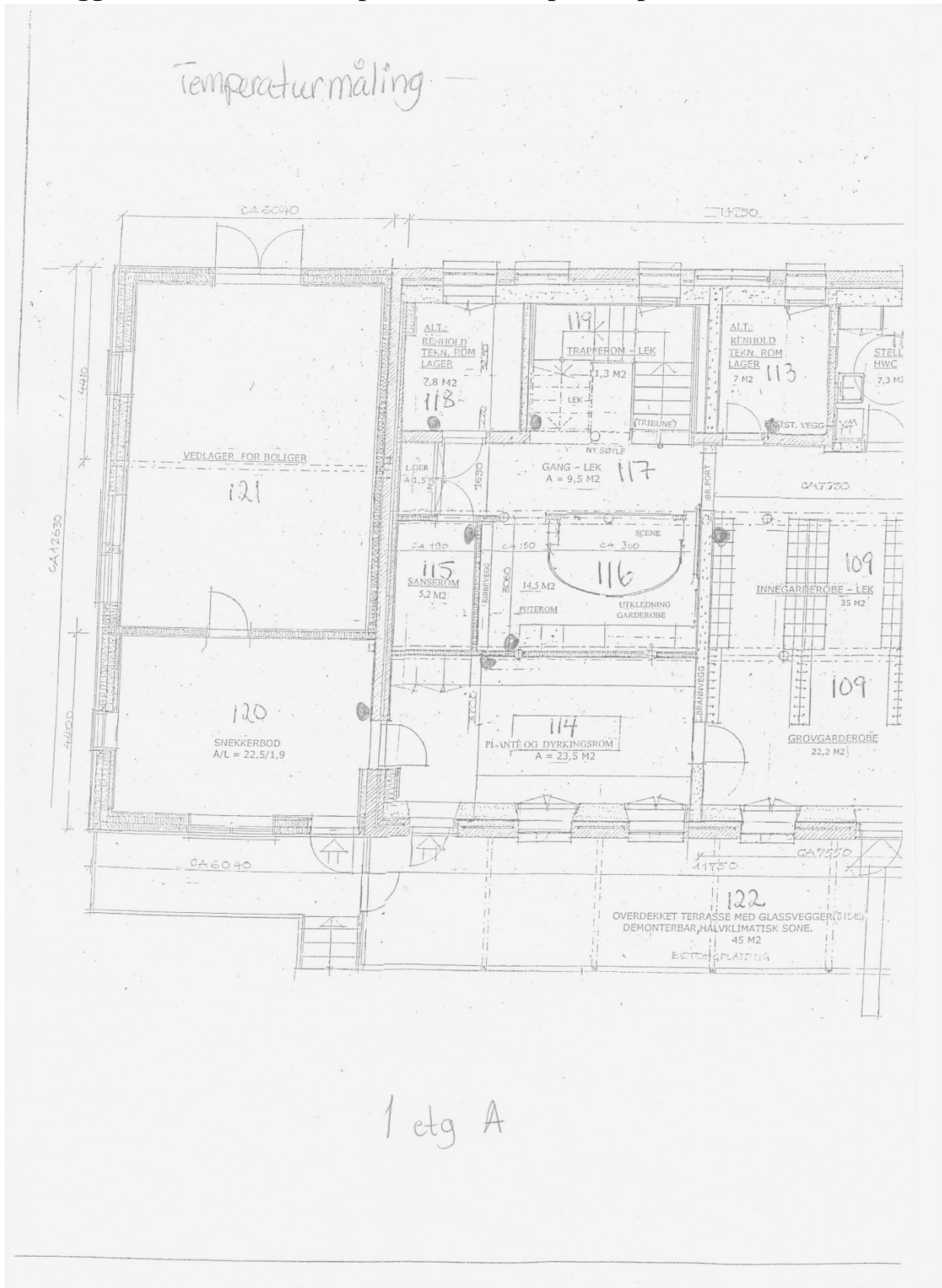
27 27 kW

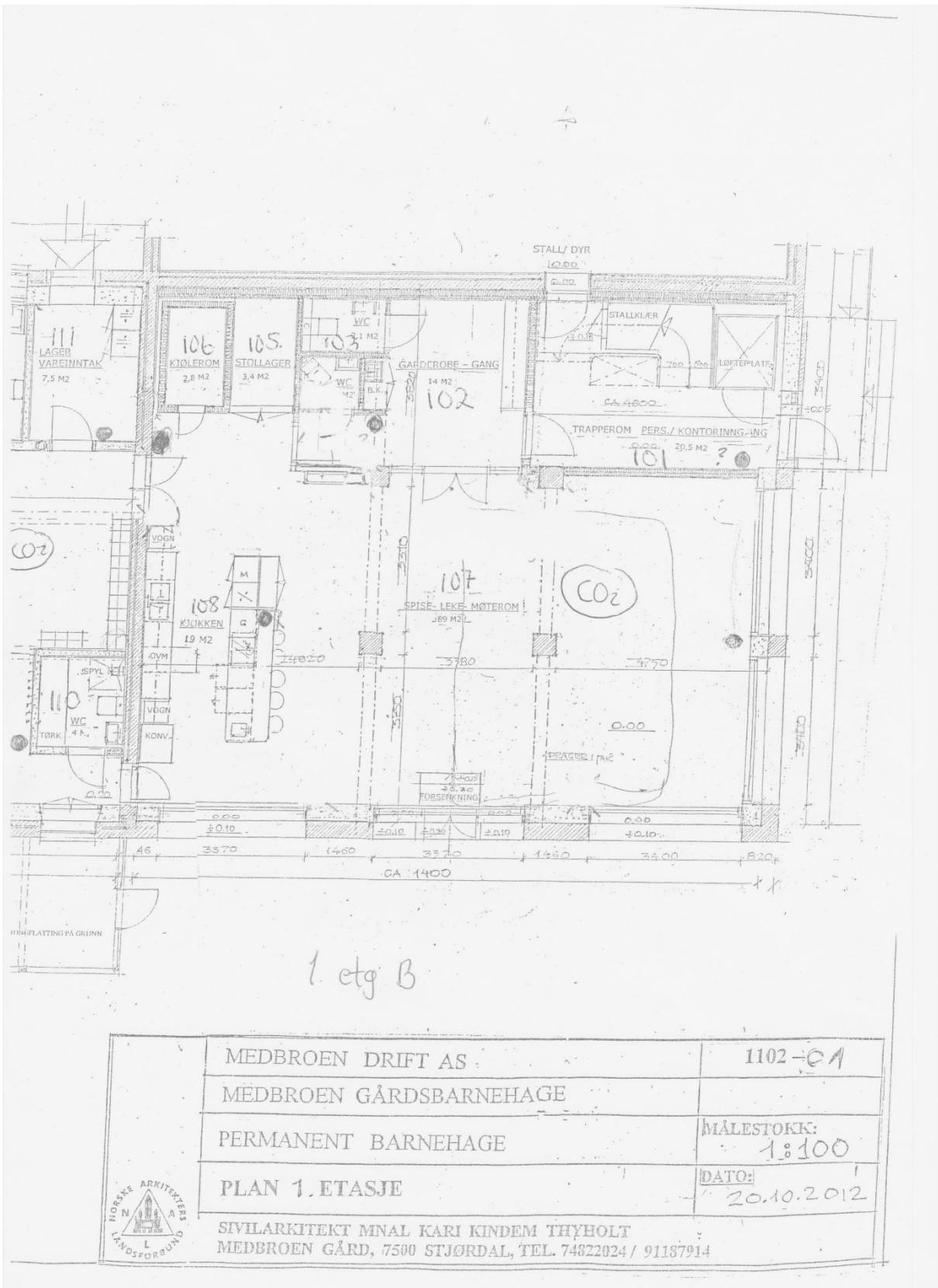
- Maksimalvokter aktiv
- Starsignal fra varmepumpe
- Elkjel på

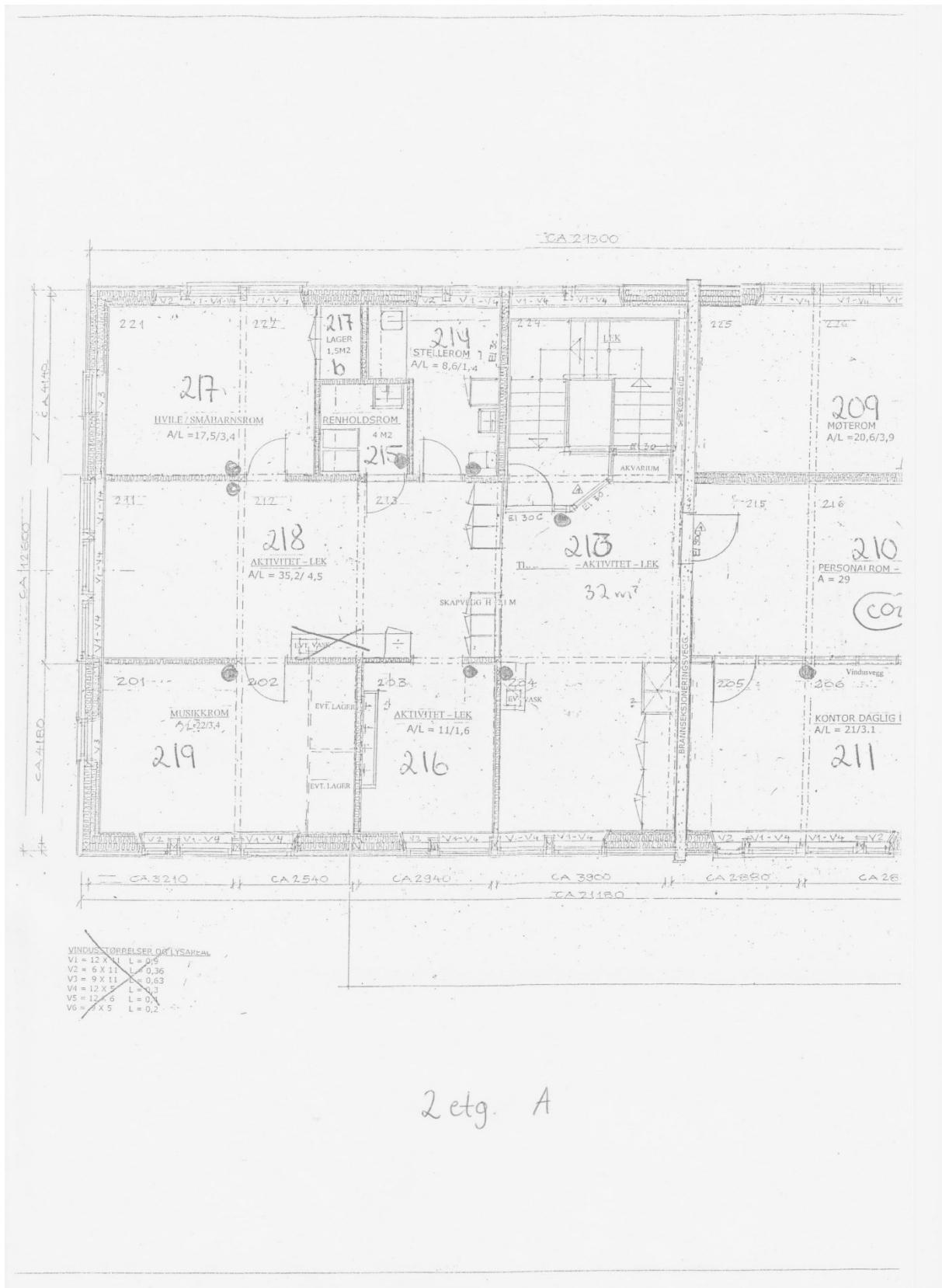
Nettanalysator Inntak

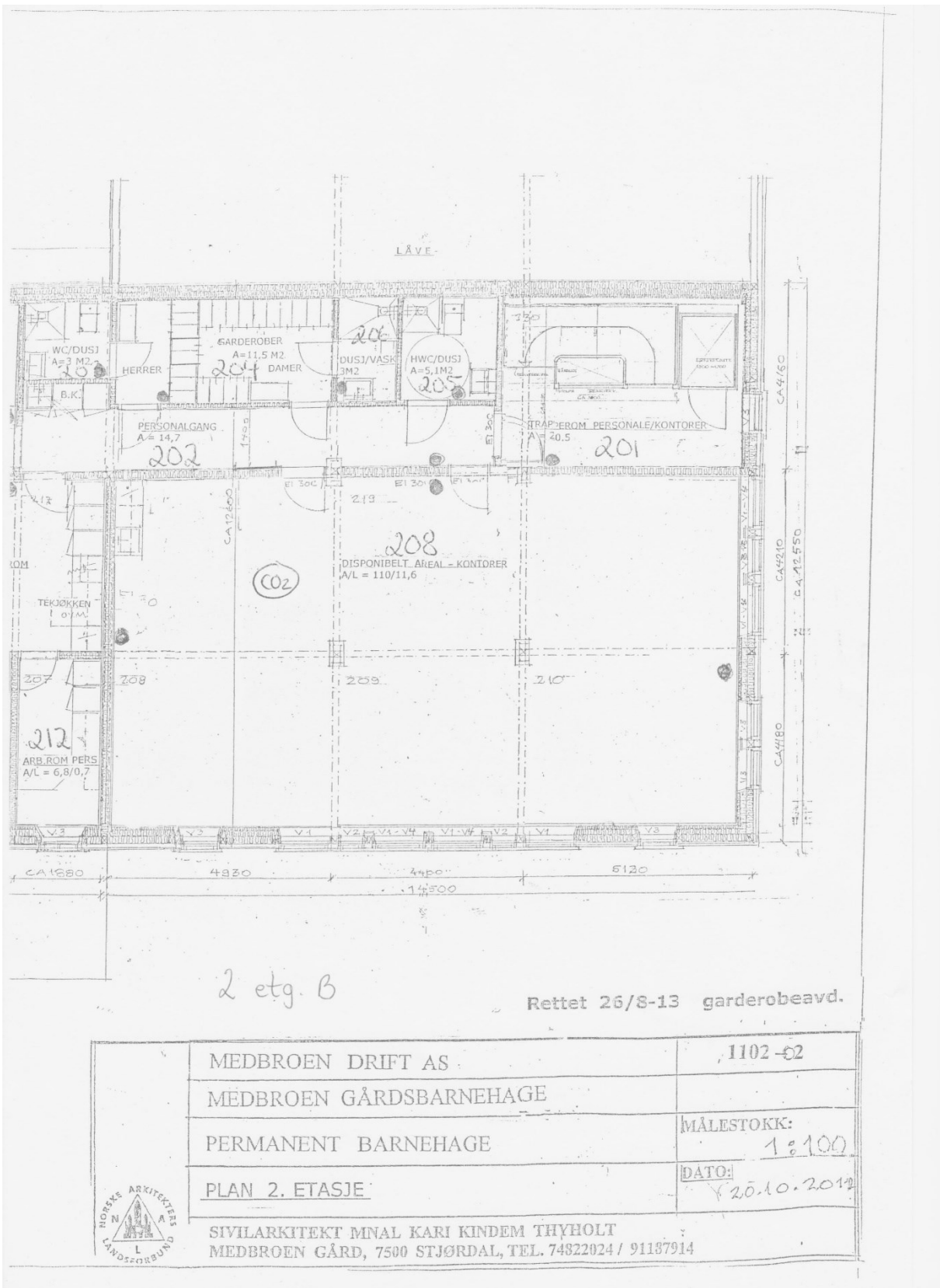
Inntak				
	L1	L2	L3	Total
Effekt	4120W	2760W	2704W	9584W
Reaktiv effekt	-1265.9var	833.7var	-734.5var	-1166.7var
Strøm	23.3A	21.1A	19.9A	
Power factor	-1	1	-0.9	
Fasevinkel				
	L1-N	L2-N	L3-N	
Spenning	138.4V	136.1V	140.1V	
Frekvens	50Hz			

Vedlegg 5 Oversikt over temperaturfølarar på romplan









Vedlegg 6 Beregna varmeyting og COP per dag

Dato	Utetemperatur [°C]	Varmeyting [kW]	COPvp	COPot
01.01.2017	2.1	9.8	3.2	3.2
02.01.2017	-0.6	11.8	2.5	2.0
03.01.2017	0.0	11.2	2.7	2.4
04.01.2017	-7.0	13.0	2.2	1.4
05.01.2017	-9.9	14.5	2.0	1.1
06.01.2017	-2.1	12.4	2.3	1.6
07.01.2017	1.8	10.3	2.9	2.7
08.01.2017	3.0	9.8	3.1	3.0
09.01.2017	4.1	8.8	3.1	3.1
10.01.2017	3.8	8.5	3.2	3.2
11.01.2017	4.2	8.0	3.1	3.1
12.01.2017	-0.8	11.1	2.7	2.1
13.01.2017	-0.9	11.7	2.5	2.1
14.01.2017	-0.7	11.0	2.7	2.4
15.01.2017	-0.3	11.4	2.7	2.6
16.01.2017	-0.8	11.8	2.4	1.7
17.01.2017	0.9	10.9	2.6	2.3
18.01.2017	3.5	9.2	2.8	2.6
19.01.2017	4.7	8.4	3.1	3.1
20.01.2017	3.6	8.7	3.1	3.1
21.01.2017	5.5	6.5	3.2	2.9
22.01.2017	5.3	7.6	3.3	3.3
23.01.2017	4.3	9.9	2.8	2.6
24.01.2017	3.0	9.9	2.8	2.6
25.01.2017	4.6	9.9	2.8	2.6
26.01.2017	3.0	9.9	2.8	2.6
27.01.2017	-3.0	9.9	2.8	2.6
28.01.2017	1.3	11.3	2.9	2.8
29.01.2017	3.2	9.3	3.1	3.1
30.01.2017	0.7	10.9	2.9	2.8
31.01.2017	-2.8	13.0	2.2	1.7
01.02.2017	-2.8	13.0	2.2	1.6
02.02.2017	0.9	11.2	2.5	2.1
03.02.2017	-0.2	10.7	2.4	2.1
04.02.2017	-1.0	11.5	2.6	2.4
05.02.2017	0.8	10.2	2.8	2.7
06.02.2017	0.9	11.0	2.5	2.1
07.02.2017	-4.7	12.7	2.2	1.6
08.02.2017	-7.0	13.4	2.1	1.3
09.02.2017	-6.8	13.2	2.1	1.3

10.02.2017	-4.7	12.7	2.1	1.4
11.02.2017	-5.7	13.1	2.3	1.8
12.02.2017	-4.2	13.0	2.2	1.8
13.02.2017	4.0	9.7	2.6	2.3
14.02.2017	2.1	9.4	3.0	2.9
15.02.2017	-1.4	11.8	2.4	2.0
16.02.2017	1.2	10.4	2.5	2.4
17.02.2017	3.6	8.4	2.7	2.6
18.02.2017	3.8	7.8	3.2	3.2
19.02.2017	4.2	7.6	3.2	3.2
20.02.2017	1.2	10.3	3.1	3.0
21.02.2017	-0.9	11.9	2.5	1.8
22.02.2017	1.2	10.9	2.7	2.5
23.02.2017	-3.3	12.0	2.4	1.8
24.02.2017	-2.2	10.2	2.2	1.7
25.02.2017	-1.3	10.8	2.7	2.7
26.02.2017	0.2	9.3	2.9	2.9
27.02.2017	1.7	9.1	2.4	2.1
28.02.2017	1.8	8.6	2.6	2.4
01.03.2017	2.5	7.1	3.0	3.0
02.03.2017	-3.0	9.7	2.5	1.9
03.03.2017	-1.7	9.8	2.5	2.2
04.03.2017	-1.3	9.9	2.8	2.6
05.03.2017	-2.2	9.3	2.7	2.6
06.03.2017	-3.7	10.6	2.2	1.7
07.03.2017	-4.8	10.7	2.2	1.8
08.03.2017	-3.8	10.0	2.1	1.6
09.03.2017	-2.3	9.0	2.1	1.7
10.03.2017	0.7	7.2	2.4	2.0
11.03.2017	0.8	6.4	2.9	2.9
12.03.2017	2.3	7.4	3.1	3.1
13.03.2017	3.5	7.4	3.0	3.0
14.03.2017	4.4	6.3	2.8	2.8
15.03.2017	3.6	6.5	2.9	2.9
16.03.2017	3.9	7.3	2.9	2.9
17.03.2017	2.6	6.9	2.9	2.7
18.03.2017	1.1	7.0	3.0	2.9
19.03.2017	-0.1	7.8	2.8	2.6
20.03.2017	4.1	7.5	2.4	2.1
21.03.2017	4.7	6.5	2.9	2.9
22.03.2017	2.0	7.0	2.8	2.8
23.03.2017	0.4	7.6	3.0	3.0
24.03.2017	2.1	7.7	2.8	2.6

25.03.2017	5.1	5.5	3.0	2.9
26.03.2017	7.2	4.3	2.8	2.8
27.03.2017	6.5	6.7	2.9	2.9
28.03.2017	2.5	7.3	3.0	3.0
29.03.2017	0.3	7.5	2.4	2.2
30.03.2017	0.9	8.1	2.5	2.2
31.03.2017	4.4	6.1	2.7	2.6
01.04.2017	6.5	3.6	2.6	2.5
02.04.2017	7.1	4.0	2.9	2.9
03.04.2017	8.0	6.4	2.7	2.7
04.04.2017	6.5	5.7	2.7	2.7
05.04.2017	5.0	5.0	2.7	2.7
06.04.2017	5.1	5.4	2.7	2.7
07.04.2017	5.0	5.7	2.6	2.5
08.04.2017	5.3	4.7	2.9	2.7
09.04.2017	7.7	4.3	2.8	2.8
10.04.2017	5.4	8.2	3.2	3.2
11.04.2017	2.4	8.8	3.2	3.2
12.04.2017	1.6	7.2	2.6	2.3
13.04.2017	2.2	7.1	2.8	2.6
14.04.2017	2.3	6.7	2.9	2.8
15.04.2017	1.3	4.9	2.8	2.7
16.04.2017	2.0	5.8	2.8	2.7
17.04.2017	2.5	7.3	2.8	2.5
18.04.2017	2.1	6.5	2.6	2.3
19.04.2017	4.0	5.9	2.8	2.8
20.04.2017	5.5	5.5	2.7	2.7
21.04.2017	3.2	5.8	2.8	2.7
22.04.2017	2.9	5.8	3.0	2.9
23.04.2017	2.3	6.5	3.0	3.0
24.04.2017	2.7	7.2	2.5	2.4
25.04.2017	3.7	6.0	2.8	2.8
26.04.2017	2.9	5.9	2.9	2.9
27.04.2017	2.7	6.0	2.7	2.7
28.04.2017	4.5	5.9	2.5	2.3
29.04.2017	6.5	3.0	2.5	2.4
30.04.2017	6.6	3.9	2.6	2.6
01.05.2017	8.8	6.1	3.0	3.0
02.05.2017	8.9	4.0	2.8	2.8
03.05.2017	7.8	3.9	2.1	1.7
04.05.2017	8.4	3.9	2.6	2.4
05.05.2017	12.9	3.3	2.2	2.0
06.05.2017	9.7	2.1	2.1	2.0

07.05.2017	6.4	3.5	2.6	2.5
08.05.2017	5.1	6.8	2.8	2.7
09.05.2017	5.3	5.8	2.9	2.9
10.05.2017	6.9	5.2	2.4	2.0
11.05.2017	9.4	4.3	2.4	2.0
12.05.2017	11.5	4.4	2.2	1.8
13.05.2017	13.7	2.3	2.1	2.0
14.05.2017	15	1.5	1.6	1.4
15.05.2017	11.8	3.5	2.4	2.1
16.05.2017	14.3	2.2	1.9	1.7
17.05.2017	13.7	2.0	2.0	1.8
Gjennomsnitt	2.6	8.0	2.7	2.5
Høgste verdi	15	14.5	3.3	3.3
Lågaste verdi	-9.9	1.5	1.6	1.1

Vedlegg 7 Oversikt over funksjoner for RTD-LT/CA (Daikin Europe N.V.)

Overview functions



MAIN FUNCTIONS			RTD-LT/CA
Dimensions	H x W x D	mm	100 x 100 x 22
On/off prohibition			
Key card + window contact			
Set back function			
Prohibit or restrict remote control functions (setpoint limitation, ...)			
Modbus (RS485)			✓
Dry contact control			✓
Group control			
0 - 10 V control			
Resistance control			
IT application			
Heating interlock			
Output signal (on/defrost, error)			✓
Space heating / cooling operation			✓
Domestic hot water control			✓
Retail application			
Partitioned room control			
Air curtain			
Smart grid control			✓

CONTROL FUNCTIONS	RTD-LT/CA
On/Off	M,C,V,R
Room temperature setpoint	M
Set point leaving water temperature (heating / cooling)	M,V,R
Operation mode	M,V,R
fan	
Louver	
HRV Damper control	
Prohibit/Restrict functions	
Forced thermo off	
Domestic hot water On	M,V,R
Domestic Hot Water reheat	M
Domestic hot water reheat setpoint	M,V,R
Domestic Hot Water storage	
Domestic hot water booster setpoint	M
Quiet mode	M,C
Weather dependent setpoint enable	M
Weather dependent curve shift	M
Fault/pump info relay choice	R
Control source prohibition	M

MONITORING FUNCTIONS	RTD-LT/CA
On/Off	M,C
Room temperature setpoint	M
Set point leaving water temperature (heating/cooling)	M
Operation mode	M
Domestic Hot Water reheat	M
Domestic Hot Water storage	M
Number of units stored in the group	
Average leaving water temperature	
Remocon room temperature	M
fan	
Louver	
RC temperature	
RC mode	
nbr units	
Fault	M,C
Fault code	M
Circulation pump operation	M,C
Flow rate	M
Solar pump operation	M
Compressor status	M
Desinfection operation	M
Setback operation	
Return air temperature (Average /Min/Max)	
Filter alarm	
Termo on	
Defrost	M
Hot start	M
Booster heater operation	M
3-way valve status	M
Coil In/Out temperature	
Pump running hours accumulated	M
Compressor running hours accumulated	M
Actual leaving water temperature	M
Actual return water temperature	M
Actual DHW tank temperature (*)	M
Actual refrigerant temperature	M
Actual outdoor temperature	M

M : Modbus / R : Resistance / V : Voltage / C: Contact