

i samarbeid med



STIFTELSEN VEKST
VEKST TEKNOLOGI AS

TESTRAPPORT

**Måling av varmetap fra
varmtvannsberedere**

**Rapport nr.
OIH 15091-2005.1.B**

**OSLO
april - 2005**



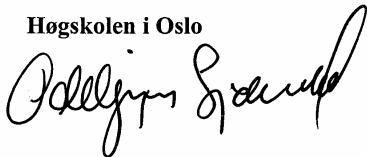
TESTRAPPORT

**Måling av varmetap fra
varmtvannsberedere**

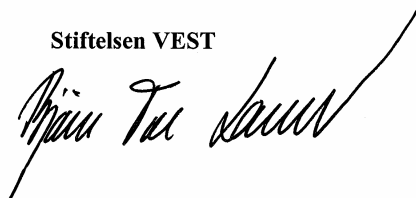
**Rapport nr.
OIH 15091-2005.1.B**

**OSLO
april - 2005**

Høgskolen i Oslo



Stiftelsen VEST



INNHold

SAMMENDRAG	4
1. BAKGRUNN	5
2. MÅLEMETODER	6
2.1 Måling av strømforbruk - Metode 1	10
2.2 Måling av avkjølingskurve - Metode 2	15
2.3 Sammenligning av varmetap målt med Metode 1 og Metode 2	19
2.4 Avkjølingshastighet	20
VEDLEGG 1 Beskrivelse av målemetoder	
VEDLEGG 2 Kalibrering av energimålere	

SAMMENDRAG

Målinger av varmetapet fra varmtvannsberedere som beskrevet i denne rapporten, er kommet i stand ved et samarbeid mellom Stiftelsen VEKST ved EMTEK-programmet og Ingeniørutdanningen ved Høgskolen i Oslo.

For testen ble det ble valgt ut 5 stk 200 liter elektriske varmtvannsberedere, alle med 2 kW varmelement:

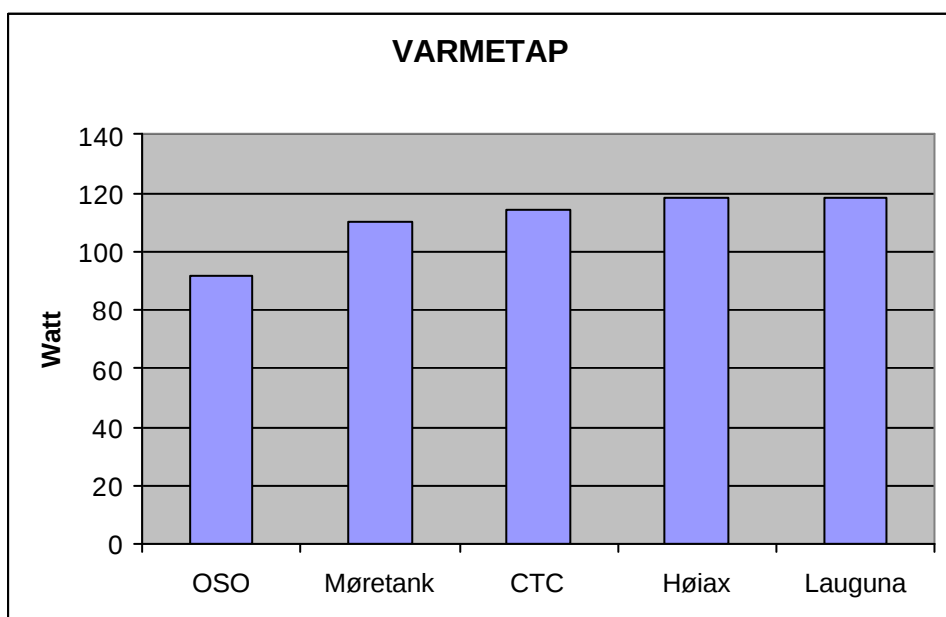
OSO RS200 ECO Foam
CTC R 200 S
Høiax RS 200
Møretank MT R 200
Lauguna PBR / S200

Berederne ble innkjøpt av EMTEK-programmet fra tilfeldig valgte VVS-forretninger i Oslo-området og brakt direkte til Energi- og miljølaboratoriet ved Høgskolen i Oslo for utpakking og oppstilling for testing.

Varmetapet ble målt etter to forskjellige metoder:

- Metode 1** Måle elektrisk effekt/energi som skal til for å opprettholde konstant vanntemperatur i fulladet bereder når det ikke tappes vann.
- Metode 2** Registrere avkjølingsforløpet på vannet i berederen når fullt oppladet bereder gjøres strømløs, det ikke tappes vann og det er full omrøring av vannet i berederen

Varmetapet målt med Metode 2 lå generelt noe høyere enn varmetapet målt med Metode 1. Det er vanskelig å si hva som er hovedårsaken til forskjellen. I og med det ikke var mulig å foreta avkjølingstesten for CTC-berederen, og at begge metodene gir samme rangering mellom berederne vil vi foreslå at resultatene fra testing etter Metode 1, som vist i figuren nedenfor, blir resultatet av forsøkene. OSO-berederen har 20 – 25 % lavere varmetap enn de øvrige.



1. BAKGRUNN

Målinger av varmetapet fra varmtvannsberedere som beskrevet i det følgende, er kommet i stand ved et samarbeid mellom Stiftelsen VEKST ved EMTEK-programmet og Ingeniørutdanningen ved Høgskolen i Oslo.

EMTEK-programmet (Energi- og Miljø-vennlig TEKnologi) har som formål å arbeide for at de mest energi- og miljøvennlige produkter velges når brukerne står i en reell valgsituasjon. Produktenes egenskaper må dokumenteres, og de som tilhører de 25 % beste innen sin gruppe kan få betegnelsen *EMTEK-produkt*.

Ingeniørutdanningen ved Høgskolen i Oslo har et godt Energi- og miljølaboratorium som de ønsker å forbedre ytterligere. I laboratoriet utføres målinger/tester som studentoppgaver. Høgskolen er også interessert i å gjennomføre målinger for eksterne kontakter dersom disse målingene også er relevante for undervisningen av studentene.

I følge Statistisk Sentralbyrå var det i 2001 ca. 2 mill. privathusholdninger i Norge, og antallet er økende fordi antall personer pr. husholdning er synkende. Alle husholdninger har en varmtvannsbereder, enten sin egen eller på deling med andre (f.eks. fellesanlegg i blokker). De aller fleste beredere er elektrisk oppvarmet. Selv i boligblokker har de fleste leilighetene egne elektriske beredere plassert i kjøkkenbenk. Man kan derfor regne at det i Norge i dag er ca. 2 mill. beredere som hver har et varmeelement på 2 kW. Varmtvannsforbruket har en tendens til å være konsentrert i relativt korte perioder morgen, ettermiddag og kveld, og i verste fall kan dette derfor gi et samlet effektuttak på 4 GW. Nasjonalt er det derfor viktig at varmtvannsberederne er laget slik at de oppfyller de funksjonelle kravene til vannmengde og temperatur med lavest mulig energibruk og effektuttak.

Det er stor sannsynlighet for at man i framtiden vil få tidsvariable el-tariffer også for vanlige forbrukere, dvs. prisen vil variere over døgnet avhengig av belastningen på el-nettet. Ved å ha "smart" styring av varmtvannsberederne, og el-målere med to-veis kommunikasjon mellom e-verk og forbruker, er det mulig å "flytte", effektuttaket til tider av døgnet med lav el-pris, uten at det går ut over komforten til husstandens medlemmer. En avgjørende forutsetning for at man skal få full glede av slik teknikk er at varmtvannsberederen er godt isolert. Dette gir maksimal frihet til å velge hvor lange utkoplingsperioder man kan ha uten at middeltemperaturen i berederen kommer under ca. 60 °C (lavere temperatur kan gi fare for legionella-bakterier i vannet).

Med en godt isolert varmtvannsbereder vil derfor forbrukerne få reduserte strømutfgifter:

1. på grunn av det reduserte varmetapet
2. ved maksimal utnyttelse av framtidige tidsvariable el-tariffer

Det vil derfor i tiden framover bli en økende etterspørsel etter varmtvannsberedere som har dokumenterte varmetapsegenskaper basert på målinger utført av nøytrale institusjoner. Høgskolen i Oslo ønsker av denne grunn å bygge opp en permanent oppstilling i sitt laboratorium for testing av varmtvannsberedere mht. varmetap og andre forhold. Den gjennomførte testen av varmetapet fra 5 stk. varmtvannsberedere som er rapportert i det følgende kan derfor også sees på som et forprosjekt/erfaringshøsting for oppbygging av den permanente måleoppstillingen.

2. MÅLEMETODER

For testen ble det ble valgt ut 5 stk 200 liter elektriske varmtvannsberedere, alle med 2 kW varmelement:

OSO RS200 ECO Foam
CTC R 200 S
Høiax RS 200
Møretank MT R 200
Lauguna PBR / S200

Berederne ble innkjøpt av EMTEK-programmet fra tilfeldig valgte VVS-forretninger i Oslo-området og brakt direkte til Energi- og miljølaboratoriet ved Høgskolen i Oslo for utpakking og oppstilling for testing.

Varmetapet ble målt etter to forskjellige metoder:

- Metode 1** Måle elektrisk effekt/energi som skal til for å opprettholde konstant vanntemperatur i fulladet bereder når det ikke tappes vann.
- Metode 2** Registrere avkjølingsforløpet på vannet i berederen når fullt oppladet bereder gjøres strømløs, det ikke tappes vann og det er full omrøring av vannet i berederen

Metode 1 gir varmetapet direkte i Watt, kWh/døgn, kWh/år, etc. Mao hvor mye det koster eieren å holde vannet varmt. Resultatene påvirkes av beredervolum, effekten av hvor god termostaten er, plassering av varmeelementet, mm.

Metode 2 måler kun hvor godt isolert berederen er. Resultatene påvirkes av beredervolum, energitilskudd fra sirkulasjonspumpe, varmetap fra ytre rørkrets.

Begge metoder forutsetter at vannmengden i berederen er kjent. Som en sjekk på at reelt vannvolum i berederne ikke avviker vesentlig fra 200 l ble berederne veid med og uten vann.

De to metodene utfyller hverandre og ble gjennomført i sekvens. Først ble Metode 1 benyttet, deretter ble berederen gjort strømløs og avkjølingskurven ble bestemt etter Metode 2. De to metodene er beskrevet i detalj i Vedlegg 1.

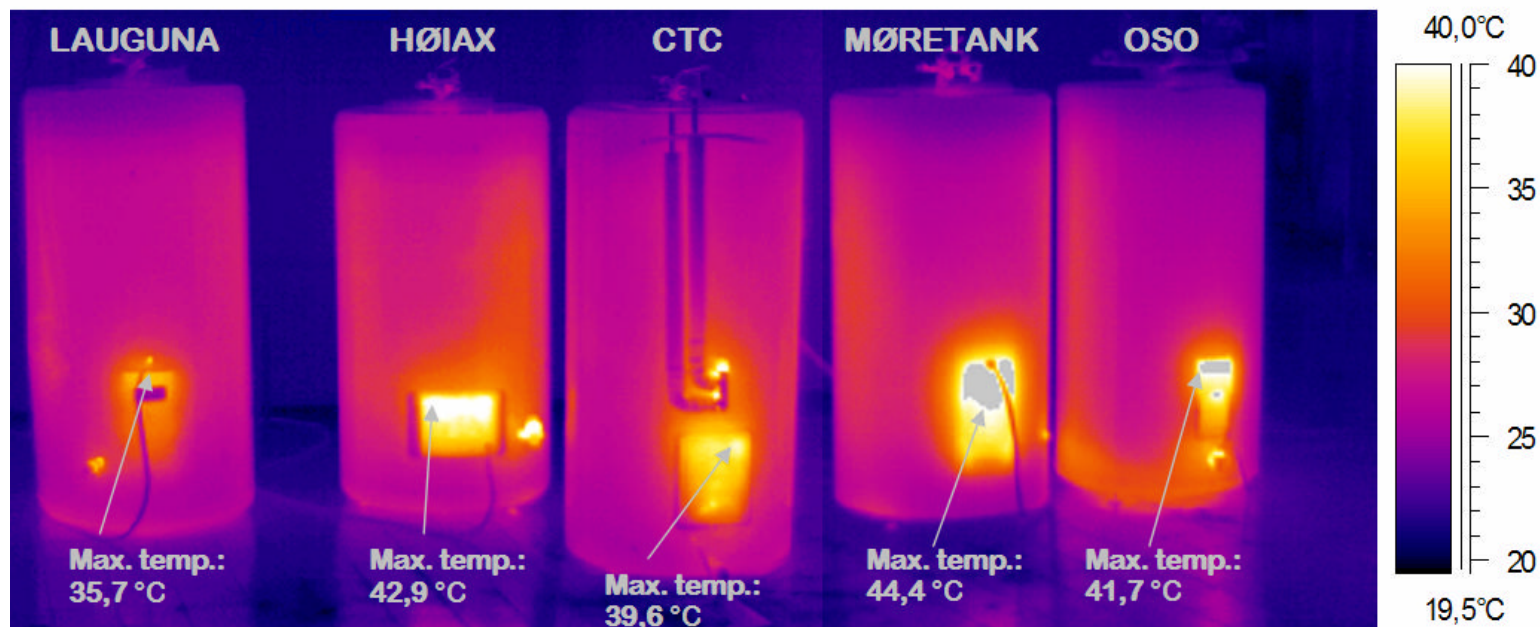
Under hele testperioden lå romtemperaturen stabilt på 21 °C

Termografering

For å kontrollere at ingen av berederne hadde noen feil med isolasjonen som ville påvirket resultatene på "urettferdig måte", ble berederne termografert etter at de var kommet opp i driftstemperatur.

Eksempel på termogrammer er vist i Figur 1 nedenfor. Termogrammene avslørte ingen isolasjonsfeil. De viser imidlertid at koblingsboksen er et vesentlig varmetapspunkt på

berederne. Generelt er overflatetemperaturen på berederne ca. 28 °C (se skalaen til høyre i figuren) mens overflatetemperaturen på koblingsboksene varierer fra ca. 36 til ca. 44 °C.



Figur 1. Termogrammer av driftsvarme beredere.

Variasjonen i overflatetemperaturen på koblingsboksene skyldes bl.a. hvorvidt varmeelementet var innkoplet da bildene ble tatt, eller hvor lenge det var siden det var innkoplet.

Varmetapet fra koblingsboksene vil bidra til å redusere forskjellen i varmetap mellom berederne (reduserer isolasjonens relative betydning)!

Kontroll av beredervolum

For at sammenligning av varmetapet fra forskjellige beredere skal ha noen mening må det relateres til samme beredervolum. Etter at alle tester var gjennomført ble derfor alle berederne kontrollveid, først tomme og så fulle av vann. Det ble benyttet 3 stk. elektroniske baderomsvekter, type OBH Nordica med angitt +/- 1 % nøyaktighet.

+/- 1 % kan også bety +0/-2 %, og kontrollveing viste at alle tre vektene viste -2,5 % mindre enn "sann" verdi ("baderomsvekter må ikke vise for mye").

Vektene ble plassert på en oppvatret plate, en vekt for hvert av beredernes 3 ben.

Resultatene fra veiingen ble som vist i TABELL 1 nedenfor.

TABELL 1 Beredervolum

Bereder	Vekt tom [kg]	Vekt full [kg]	Vannvekt [kg]	Vannvekt (2,5 % korr.) [kg]
OSO	40,1	232,9	192,8	197,6
Lauguna	39,7	232,8	193,1	197,9
Høiax	32,1	217,2	185,1	189,7
Møretank	35,9	229,4	193,5	198,3
CTC	40,4	231,3	190,9	195,7

Tanken ble fylt opp med vann av 7 °C (spes. vekt 0,9997 kg/l). Vannvekt i kg er mao. det samme som beredervolum i liter.

TABELL 1 viser at alle beredere utenom Høiax og CTC har vannvolum på 198 liter. Varmetapsverdier for disse to må derfor korrigeres opp til 198 liter.

Korreksjonsfaktor Høiax: $198/190 = 1,04$
 ” CTC: $198/196 = 1,01$

Kontroll av kWh-målere

De elektroniske kWh-målerne som ble benyttet ble kontrollert vha. et meget nøyaktig multimeter som vist i Vedlegg 2 og TABELL 2 nedenfor. Alle de benyttede kWh-målerne gir 4 til 7 % for høye verdier som det korrigeres for i Metode 1.

TABELL 2 kWh-målere, avvik

Bereder	Avvik [%]
OSO	+7
Lauguna	+4
Høiax	+6
Møretank	+6
CTC	+6

Korreksjon for utvendige rør på CTC-berederen

CTC-berederen har tilkoblinger nede på siden slik at det måtte settes på to isolerte rørstumper (15 mm kobber) for ”å holde på vannet” under testene (se bildet på forsiden av rapporten). Varmetapet fra disse rørene kan beregnes som vist i det følgende.

Varmetapet gjennom et ”tykkvegget” rør (isolasjonen) er lik varmetapet fra overflaten (neglisjerer varmemotstanden i kopperrøret). Dette er uttrykt i ligningen nedenfor.

$$2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot L \cdot (\theta_i - \theta_o) / \ln(d_y / d_i) = L \cdot \pi \cdot d_y (\theta_o - \theta_r) / m_i$$

Hvor: λ = varmeledningstall for isolasjonen = 0,03 W/m °C
 L = lengden av rørene = 1,69 m
 θ_i = temperaturen inne i røret (70 °C)
 θ_o = temperaturen på overflaten av isolasjonen [°C]
 θ_r = romtemperaturen = 21 °C
 d_y = utvendig diameter på rørisolasjonen = 0,045 m
 d_i = innvendig diameter på rørisolasjonen = 0,015 m
 m_i = varmeovergangsmotstand (stråling+konveksjon) fra overflaten på isolasjonen til romluft = 0,13 m² °C / W

Ligningen løses mhp. θ_o som gir: $\theta_o = 27,67$ °C

Setter inn θ_o i høyresiden av ligningen ovenfor for å finne varmetapet:

$$Q = L \cdot \pi \cdot d_y (\theta_o - \theta_r) / m_i = 12,3 \text{ W}$$

Korreksjon for varmetap/tilskudd fra pumpekrets (Metode 2)

Å beregne varmetapet fra rørene i pumpekretsen for Metode 2 blir helt likt som å beregne tapet fra utvendige rør på CTC-berederen som vist ovenfor. Pumpekretsen er av laget av samme type rør, og isolert på samme måte, som de utvendige rørene på CTC-berederen. Kretsen er på 1,5 m, og med 75 °C på vannet blir varmetapet **12 W**, eller **0,2222 W/ °C**.

Sirkulasjonspumpen , Grundfos UP 15-14, har effektopptak på 25 W (ble kontrollert med kWh-måler). Kun en del av denne effekten avgis til sirkulasjonsvannet, og i følge Grundfos er det snakk om **16 W**.

2.1 Måling av strømforbruk – Metode 1

Målingene startet om morgenen den 14. mars 2005. Det ble kontrollert at termostaten på alle beredere var innstilt på 75 °C . Berederne ble fylt opp og spenning satt på.

Alle beredere fikk strøm gjennom sin egen digitale kWh-måler (type PM 300 anskaffet fra ELFA). Det digitale displayet ble innstilt til å vise Akkumulerte kWh og Driftstid (hvor lenge elementet har vært innkoplet). Displayet ble avlest 1-2 ganger pr. døgn og verdiene ble notert i et registreringsskjema sammen med dato og klokkeslett.

Oppvarmingsforløp:

Teoretisk kWh-forbruk for å varme opp 200 l vann fra 7 °C til 75 °C er ca:

$$200 \times 4,18 \times (75-7) / 3600 = 15,79 \text{ kWh}$$

Med et element på 2 kW skal dette ta ca: $15,79 / 2 = 7,9$ timer (7t:54 min.)

Verdiene ovenfor er circa da de er beregnet uten varmetap og det er regnet konstante verdier på spesifikk varme og egenvekt av vannet (heller ikke regnet oppvarming av selve tanken).

For å komme opp i stabil driftstemperatur brukte de forskjellige berederne følgende:

TABELL 3 Oppvarming av berederne

Bereider	kWh avlest	kWh korrigert	Tid [t:m]
OSO	18,03	16,85	9:13
Møretank	16,22	15,30	8:24
CTC	16,99	16,03	8:38
Høiax	16,26	15,34	8:37
Lauguna	15,18	14,60	7:51

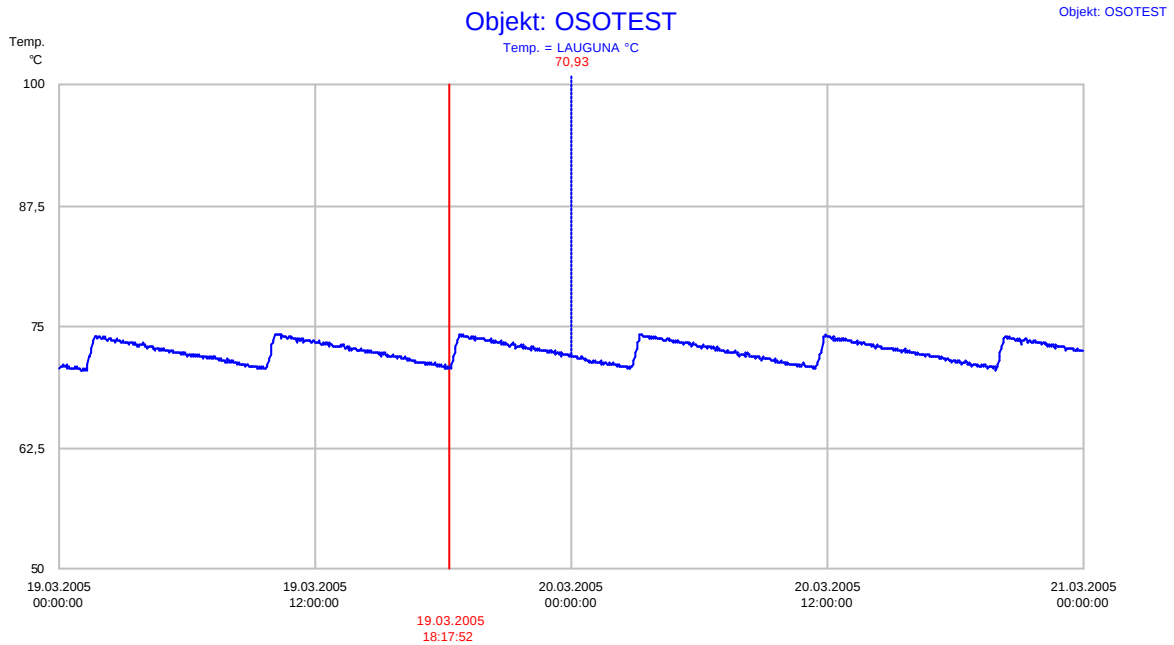
Tallene i TABELL 3, spesielt for OSO og Lauguna, gjorde at man fikk mistanke om at termostatene regulerer med et avvik fra den innstilte verdien på 75 °C. Man ville få en indikasjon på om dette var tilfellet når man startet på målingen etter Metode 2, men vi følte at vi måtte måle/logge temperaturen inne i tanken for å være sikre. Etter en del søking hos våre instrumentleverandører kom vi over ett termoelement med meget tynn ledning og som tålte å være i vann med inntil 100 °C. Dette kunne benyttes sammen med datalogger av typen MITEC AT40 som inngår i VEKST's instrumentpark.

Ved å løsne på kombiventilen på de berederne som har tilslutning på toppen (alle utenom CTC) klarte vi å føre termoelementet ned gjennom VV-porten og ca 70 cm ned i tanken. For en og en bereder av gangen kunne vi derfor følge i detalj hvordan termostat/varmeelement arbeidet, og derved bli i stand til å korrigere kWh-forbruket til de enkelte berederne til samme temperatur på 75 °C.

Som nevnt var det ikke mulig å benytte metoden med termoelement for å måle temperaturen inne i CTC-berederen. Vi startet isteden Metode 2 ved å kjøre både pumpe og varmeelement innkoplet i en periode for å se hvilke middeltemperatur det ble i tanken (se Figur 6).

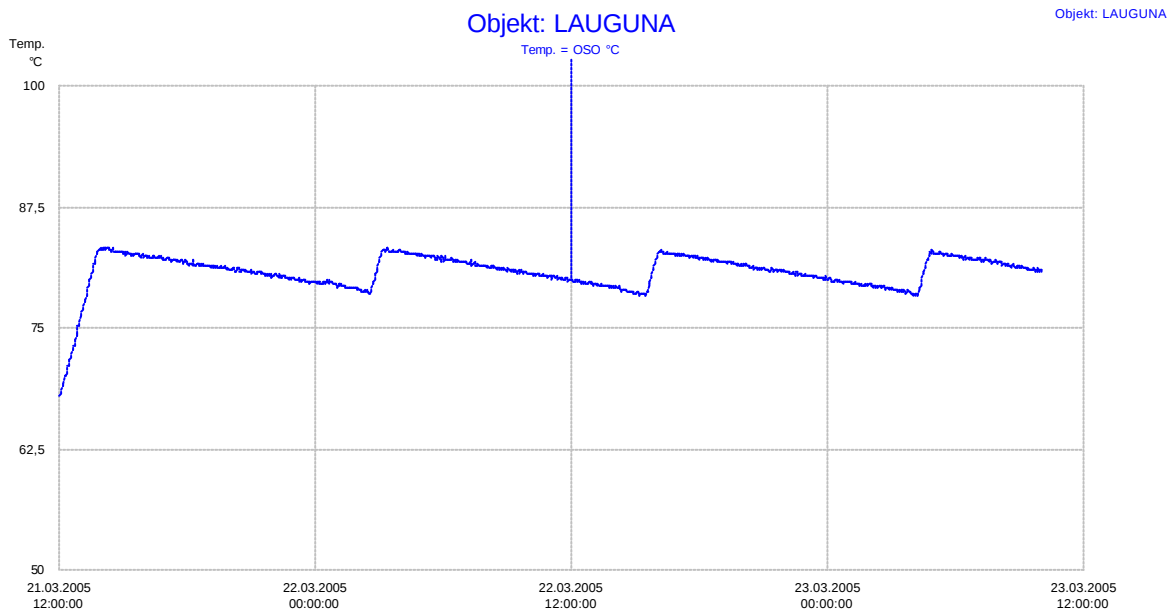
Kurver som viser temperaturen inne i berederne er vist i Figur 2 til 6 i det følgende. Kurvene viser loggninger som er foretatt samtidig med at en annen bereder, angitt som Objekt:xxx

måles etter Metode 2 . I Figur 2 logges mao. temperaturen inne i Lauguna-beredere på en inngang samtidig med at avkjølingskurven for OSO-berederen logges på en annen av dataloggerens innganger.



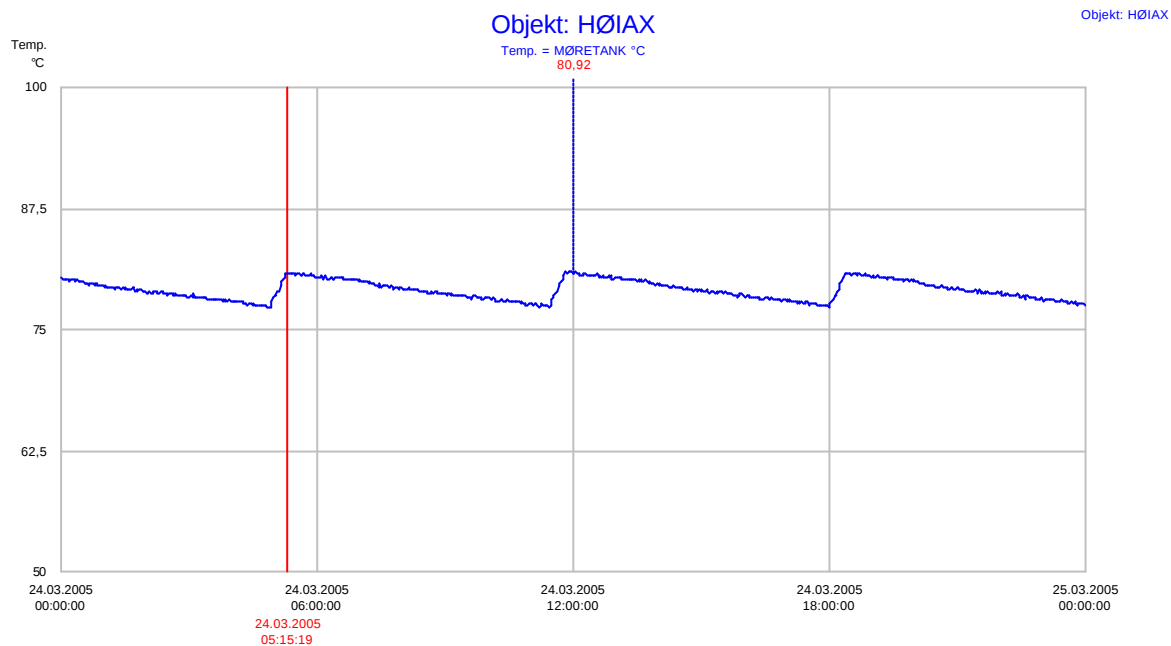
Figur 2 Logging av temperatur i **Lauguna**-berederen.

Varmeelementet kopler inn ved 70,5 °C og ut ved 74 °C, dvs. **middeltemperatur 72 °C**

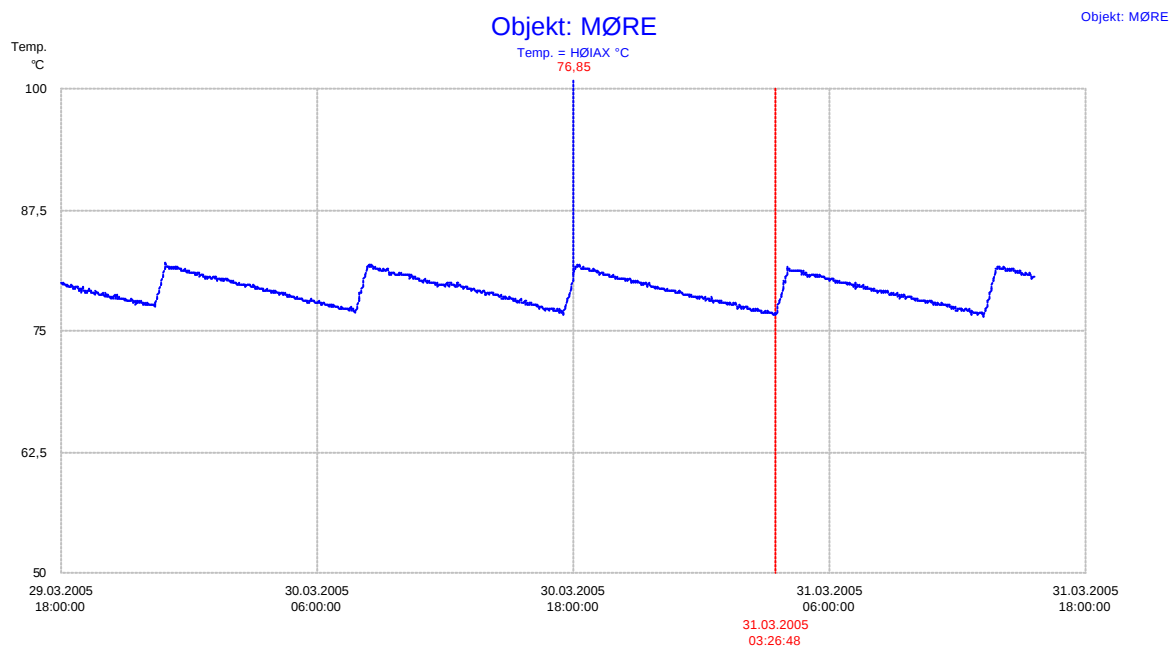


Figur 3 Logging av temperatur i **OSO**-berederen.

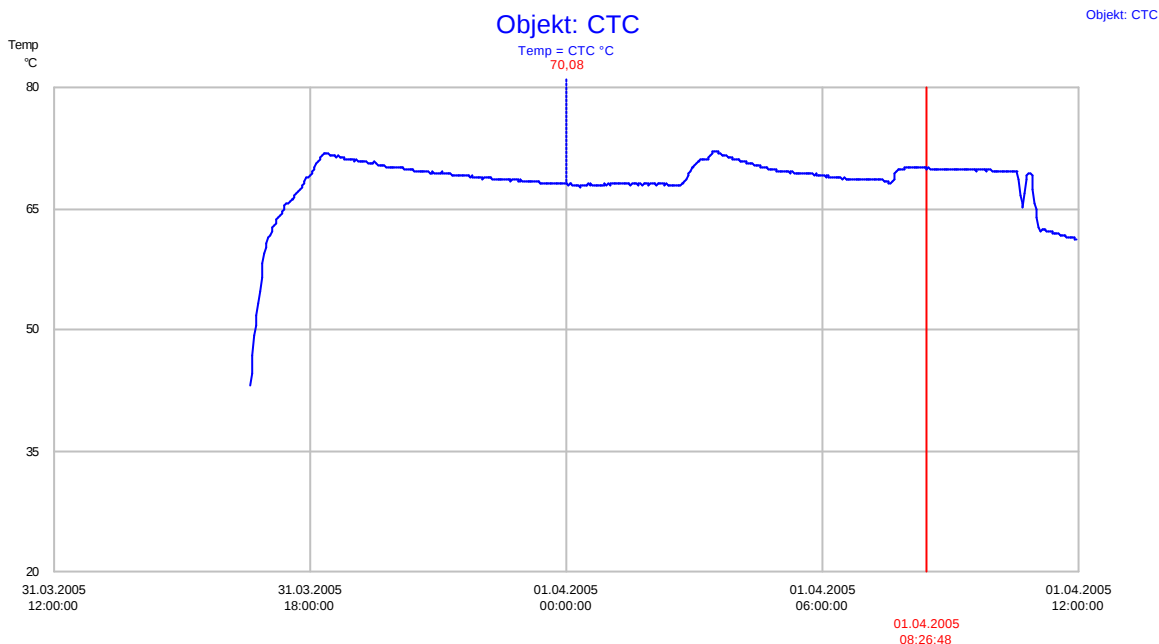
Varmeelementet kopler inn ved 78,5 °C og ut ved 83 °C, dvs. **middeltemperatur 81 °C**



Figur 4 Logging av temperatur i **MØRETANK**-berederen.
Varmeelementet kopler inn ved 77 °C og ut ved 81 °C, dvs. **middeltemperatur 79 °C**



Figur 5 Logging av temperatur i **HØIAX**-berederen.
Varmeelementet kopler inn ved 77 °C og ut ved 82 °C, dvs. **middeltemperatur 79,5 °C**



Figur 6 Logging av temperatur i CTC-berederen med varmeelement inne og sirkulasjonspumpe på (som i Metode 2). Varmeelementet kopler inn ved 68 °C og ut ved 72 °C, dvs. **middeltemperatur 70 °C** Erfaringer fra avkjølingstestene med de andre berederne tilsier at middeltemperatur med pumpe i gang er ca. 5 °C lavere enn det man får måling av temperaturen inne i tanken. Det er derfor ikke korrigert for temperatur for CTC

Figur 2 og 3 gir god forklaring på forskjellen i energiforbruket for oppvarming til driftstemperatur for OSO- og Lauguna-berederen. De har en forskjell i vanntemperatur på hele 11 °C!

Varmetapet fra en bereder er proporsjonalt med temperaturdifferensen mellom vanntemperaturen i berederen og omgivende lufttemperatur (stabilt på 21 °C). Registrert energiforbruk/varmetap ved vanntemperatur "XX °C" kan derfor regnes om til hva det blir ved 75 °C ved å multiplisere med følgende faktor:

$$K = (75 - 21) / (XX - 21)$$

CTC-berederen har tilkoblinger på siden slik at det måtte settes på to isolerte rørstumper for å "holde på vannet" under testene (se bildet på forsiden av rapporten). Varmetapet reduseres med 12,3 W som er det beregnede tapet fra rørene (også kontrollert med termografi).

De forskjellige berederne får på denne måten følgende korreksjonsfaktorer pga forskjellige temperaturer inne i berederne:

TABELL 4 Korreksjonsfaktor pga. målt temperatur inne i bereder

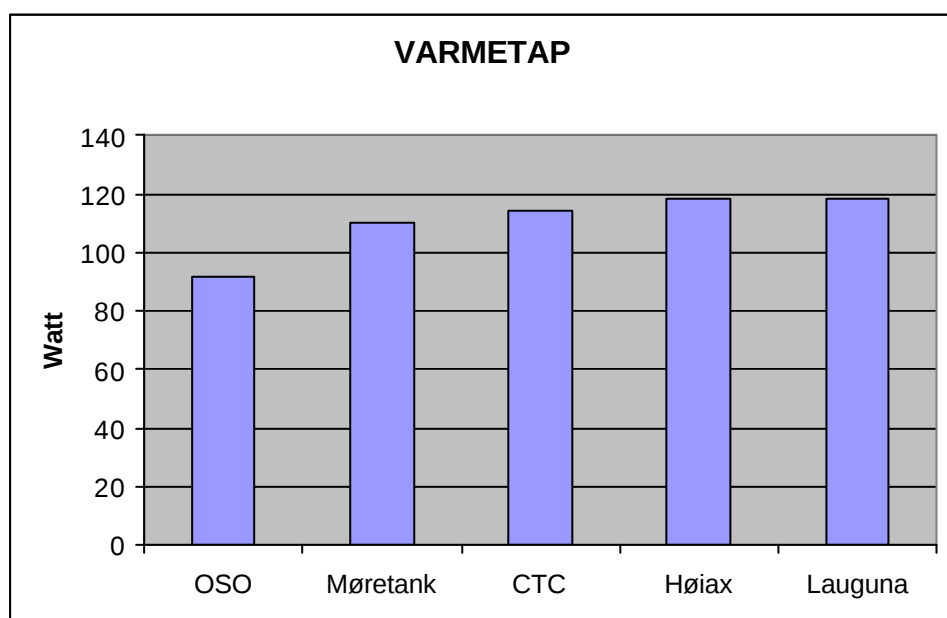
Bereder	Temperatur i bereder	Korreksjonsfaktor
OSO	81,0 °C	0,90
Møretank	79,0 °C	0,93
CTC	75,0 °C	1,00
Høiax	79,5 °C	0,92
Lauguna	72,0 °C	1,06

Alle berederne har gått på ”tomgang” i mer enn 150 timer med registrering av kWh og totalt antall timer (eksklusive oppvarmingsperioden og periode med Målemetode 2). Varmetapet for de forskjellige er vist i TABELL 5 og Figur 7.

TABELL 5 Varmetap fra beredere målt med Metode 1

Bereder	Totaltid Timer	Energiforbruk avlest kWh	Energiforbruk Korrigert kWh	Watt	Korr. pga. temp.	Korr. pga. volum	Watt korrigert
OSO	271,62	29,16	27,66	102	0,90	1,0	92
Møretank	348,92	43,74	41,26	118	0,93	1,0	110
CTC	371,37	49,38	46,58	125	1,00	1,01	114 ^{*)}
Høiax	205,92	25,3	23,87	116	0,92	1,04	118
Lauguna	156,67	17,37	16,70	107	1,06	1,0	118

*) Inneholder korreksjon for utvendige rør (12,3 W)



Figur 7 Varmetap (temperatur- og volumkorrigert) fra beredere målt med Metode 1

Som TABELL 5 og Figur 7 viser har OSO vesentlig lavere varmetap enn de andre, 18 Watt lavere enn Møretank som er nest best.

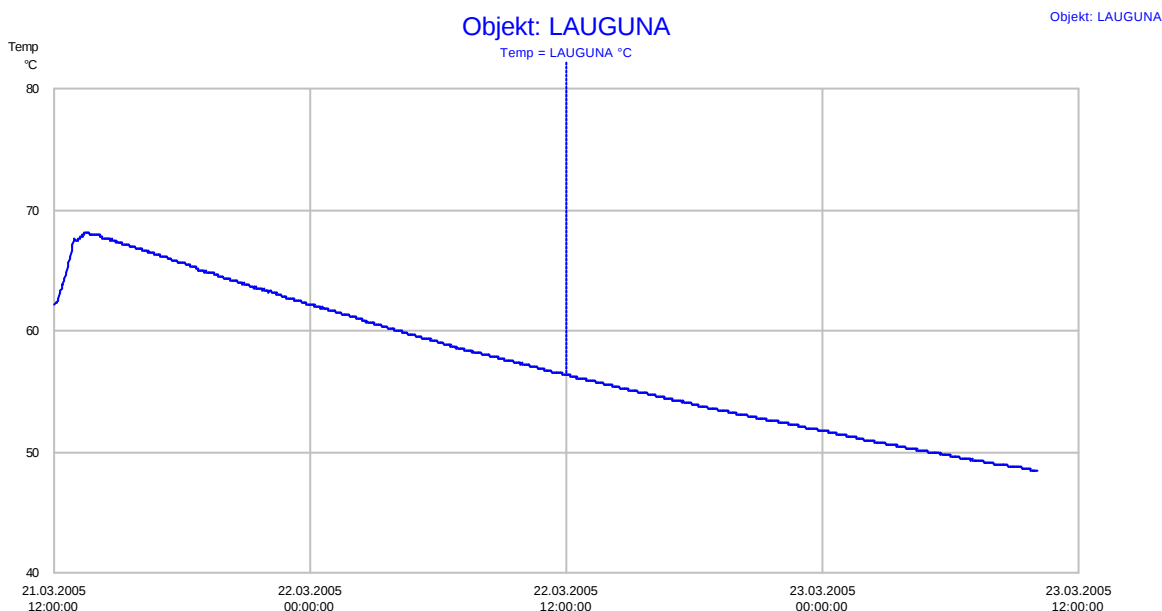
2.2 Måling av avkjølingskurve – Metode 2

Etter at alle beredere hadde gått på tomgang i 3 døgn begynte man å registrere avkjølingskurven etter Metode 2, for en og en bereder av gangen. De øvrige berederne forstatte å gå på tomgang med registrering av kWh og tid.

Avkjølingsforløpet ble logget i ca. 3 døgn til temperaturen var falt til ca. 50 °C. Rørsettet med pumpe etc. ble deretter flyttet til en av de andre berederne, osv. Berederen som var blitt avkjølt ble så varmet opp igjen. Registrering av kWh og tid ble registrert videre etter at berederen var blitt driftsvarm igjen.

Figur 8 til 11 viser avkjølingskurvene for de enkelte berederne. Temperaturen ved starttidspunktet vil generelt avvike noe fra temperaturene som ble målt inne i tankene (se Figur 1 - 6). Dette skyldes at vi ofte måtte fylle på litt vann for å få ut luft fra pumpekretsen, samt at man nå har "full omrøring" pga. pumpa.

For beregning av varmetapet er det valgt to punkter på avkjølingskurvene på hhv. ca. 70 °C og ca. 50 °C.



Figur 8 Avkjølingskurve for **Lauguna**-bereder

Figur 8 viser avkjølingsforløpet for Lauguna-berederen. Som vist i Vedlegg 1 kan varmetapet beregnes ved å benytte temperaturen for to punkter på kurven og tidsforskjellen mellom dem:

Punkt 1: 21/3-2005 kl 14:02 $\theta = 68,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

” 2: 23/3-2005 kl 06:00 $\theta = 49,7\text{ }^{\circ}\text{C}$

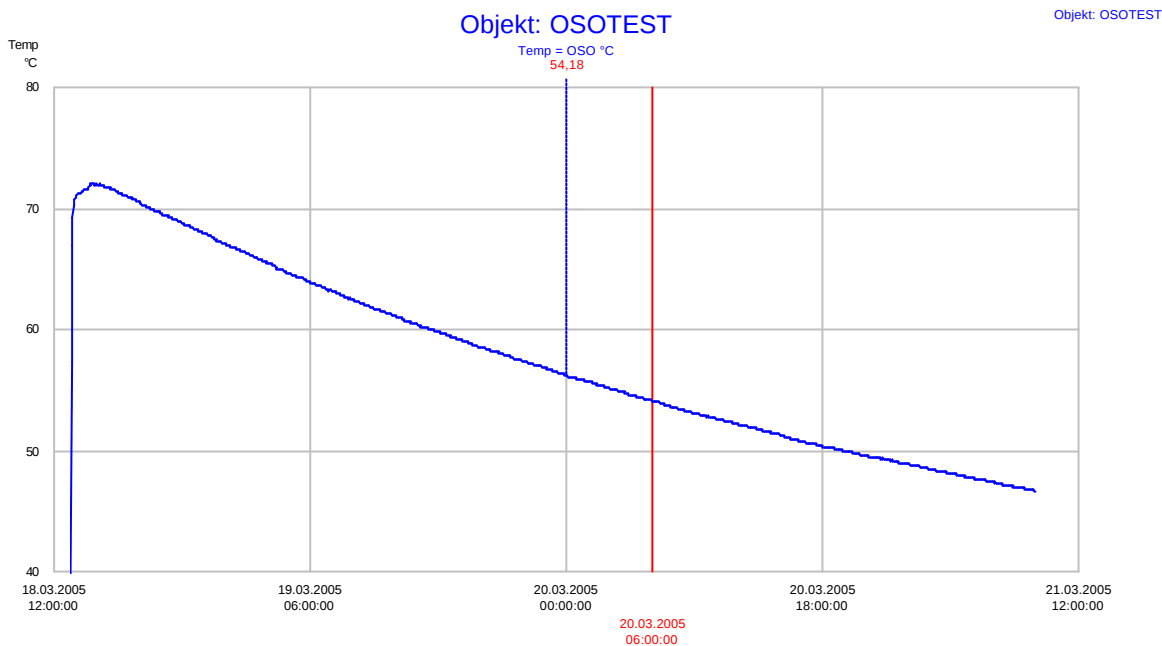
Tidsforskjell: 40 timer = 144000 sekunder

Vedlegg 1, lign. (3): $k = \ln((68-21)/(49,7-21)) / 144000 = 0,3425 \cdot 10^{-5}$

Varmetap pr. grad °C : $K = 0,3425 \cdot 10^{-5} \cdot 198 \cdot 4180 = 2,8347$

Varmetap med tanktemperatur 75 °C, korrigert for tap/tilskudd fra pumpekretsen:

$$(2,8347-0,2222) \cdot (75-21) - 16 = 125 \text{ Watt}$$



Figur 9 Avkjølingskurve for **OSO**-bereder

Figur 9 viser avkjølingsforløpet for OSO-berederen.
Som vist I Vedlegg 1 kan varmetapet beregnes som følger:

Punkt 1: 18/3-2005 kl 18:00 $\theta = 70,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

” 2: 21/3-2005 kl 06:00 $\theta = 47,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

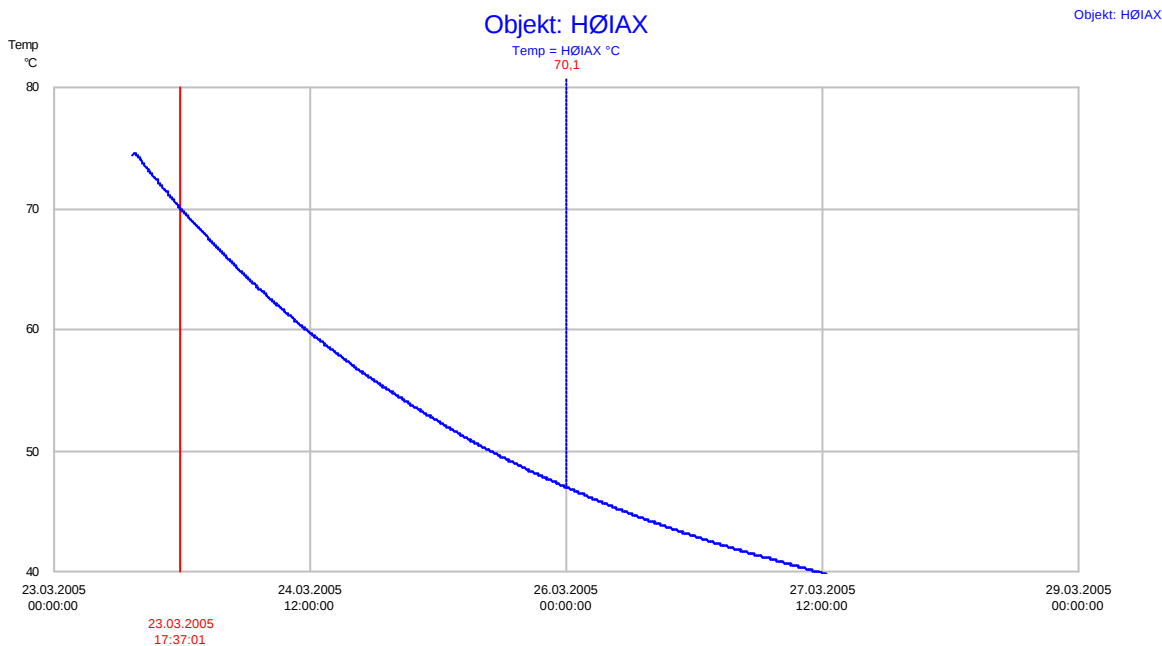
Tidsforskjell: 60 timer = 216000 sekunder

Vedlegg 1, lign. (3): $k = \ln((70,5-21)/(47,5-21)) / 216000 = 0,2893 \cdot 10^{-5}$

Varmetap pr. grad $^{\circ}\text{C}$: $K = 0,2893 \cdot 10^{-5} \cdot 198 \cdot 4180 = 2,3944$

Varmetap med tanktemperatur $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$, korrigert for tap/tilskudd fra pumpekretsen:

$$(2,3944-0,2222) \cdot (75-21) - 16 = \mathbf{101 \text{ Watt}}$$



Figur 10 Avkjølingskurve for **HØIAX**-bereder

Figur 10 viser avkjølingsforløpet for HØIAX-berederen.
Som vist i Vedlegg 1 kan varmetapet beregnes som følger:

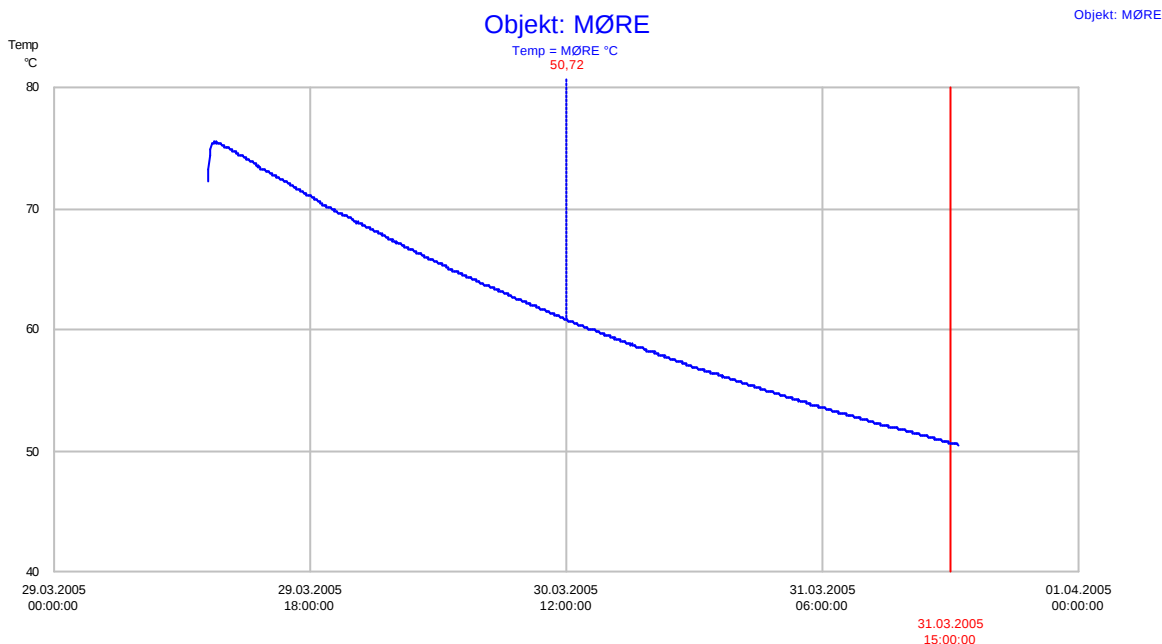
Punkt 1: 13/3-2005 kl 17:37 $\theta = 70,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
 ” 2: 26/3-2005 kl 00:00 $\theta = 47,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Tidsforskjell: 54 t 23 min = 195780 sekunder

Vedlegg 1, lign. (3): $k = \ln((70,1-21)/(47,0-21)) / 195780 = 0,3248 \cdot 10^{-5}$

Varmetap pr. grad $^{\circ}\text{C}$: $K = 0,3248 \cdot 10^{-5} \cdot 190 \cdot 4180 = 2,5796$

Varmetap med tanktemperatur $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, korrigert for tap/tilskudd fra pumpekretsen og for at vannvolumet bare er 190 liter:

$$(2,5796-0,2222) \cdot (75-21) \cdot 198/190 - 16 = \mathbf{117\text{ Watt}}$$



Figur 11 Avkjølingskurve for **MØRETANK**-bereder

Figur 11 viser avkjølingsforløpet for **MØRETANK**-berederen.
Som vist i Vedlegg 1 kan varmetapet beregnes som følger:

Punkt 1: 29/3-2005 kl 18:00 $\theta = 71,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

” 2: 31/3-2005 kl 15:00 $\theta = 51,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tidsforskjell: 45 timer = 162000 sekunder

Vedlegg 1, lign. (3): $k = \ln((71,0-21)/(51,0-21)) / 162000 = 0,3153 \cdot 10^{-5}$

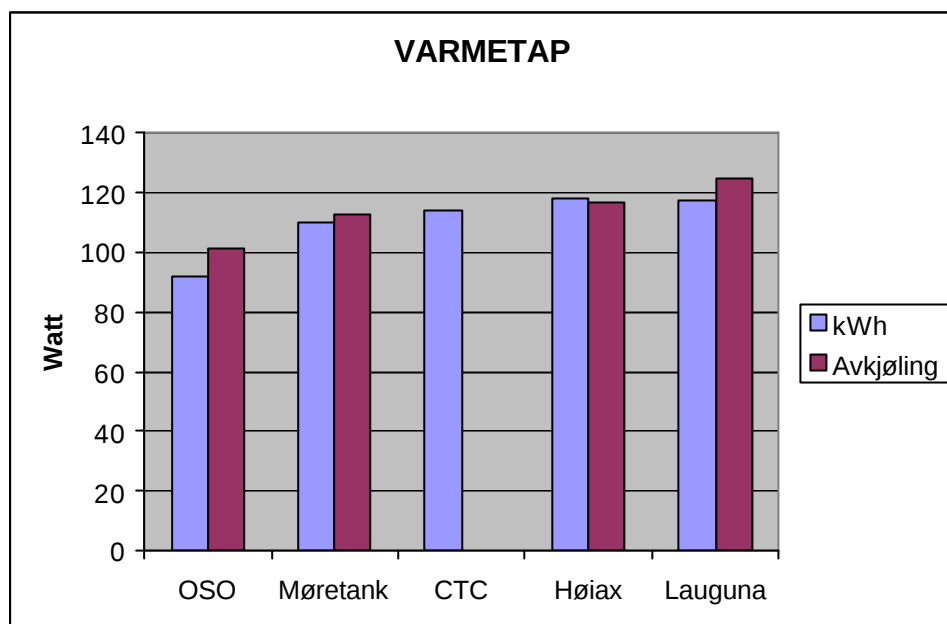
Varmetap pr. grad $^{\circ}\text{C}$: $K = 0,3153 \cdot 10^{-5} \cdot 198 \cdot 4180 = 2,6095$

Varmetap med tanktemperatur $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$, korrigert for tap/tilskudd fra pumpekretsen:

$$(2,6095-0,2222) \cdot (75-21) \cdot 16 = \mathbf{113 \text{ Watt}}$$

For **CTC-berederen** ble sirkulasjonspumpen stoppet under avkjølingsprosessen pga støy (luft). Vi fikk derfor ingen meningsfylt avkjølingskurve for denne berederen, og resultat etter Metode 2 utgår derfor for denne beredern.

2.3 Sammenligning av varmetap målt med Metode 1 og Metode 2



Figur 12 Varmetap basert på registrert kWh-forbruk (temperaturkorrigert) og basert på logging av avkjølingskurve.

Figur 12 viser varmetapet målt etter Metode 1 og Metode 2. Generelt er varmetapet målt med Metode 2 noe høyere enn målt med Metode 1.

Forskjellen mellom metodene kan skyldes at temperaturmålingen inne i tanken, Metode 1, er gjort på ett sted (samme avstand fra topp for alle beredere). Den målte temperaturen er derfor ikke helt sammenlignbar med temperaturen som måles ved avkjølingsmetoden som er en middelvei med full omrøring i tanken.

I og med det ikke var mulig å foreta avkjølingstesten for CTC-berederen, og at begge metodene gir samme rangering mellom beredere, vil vi foreslå at resultatene fra testing etter Metode 1, som vist i Figur 7, blir resultatet av forsøkene.

2.4 Avkjølingshastighet

Figur 8 til 11 viser varmtvannsberedernes avkjølingskurver. Hvor fort temperaturen faller henger selvsagt sammen med hvor godt berederen er isolert. En godt isolert bereder vil derfor være bedre egnet for strømtariffer hvor periodevis utkobling av bereder inngår som en forutsetning for å få rimelig strøm. TABELL 6 viser resultatene man får ved å gå inn i avkjølingskurvene på hhv. 68 °C og 60 °C for å finne avkjølingstiden.

TABELL 6 Avkjølingstid fra 68 °C til 60 °C

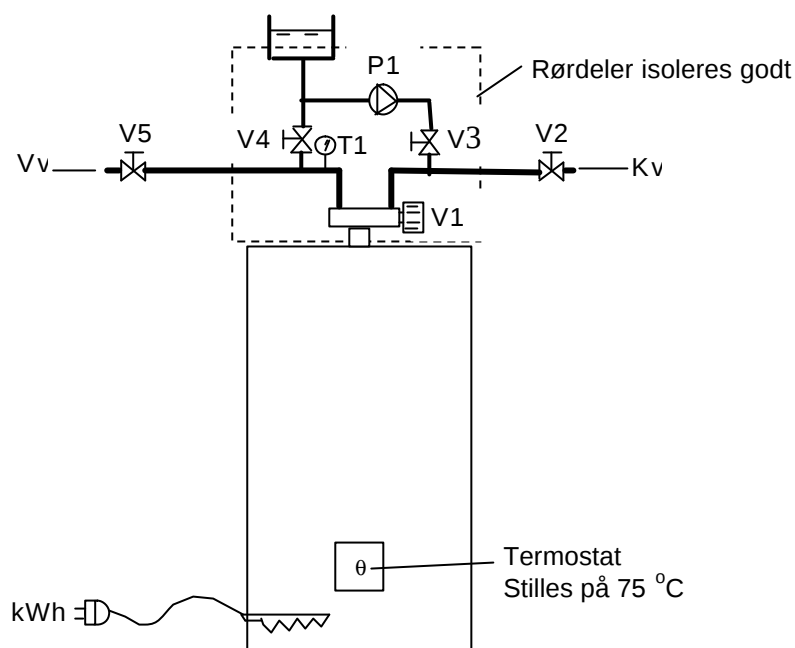
Bereder	Tidspunkt 68 °C	Tidspunkt 60 °C	Avkjølingstid [t::m]
OSO	18/3-05 kl 22:31	19/3-05 kl 14:40	16:09
Lauguna	21/3-05 kl 13:44	22/3-05 kl 04:12	14:28
Høiax	23/3-05 kl 20:56	24/3-05 kl 11:29	12:33
Møretank	29/3-05 kl 22:47	30/3-05 kl 13:54	15:07
CTC	-	-	-

OSO kom best ut av denne testen med ca. 3,5 timer lengre nedkjølingstid enn Høiax som hadde den korteste.

VEDLEGG 1

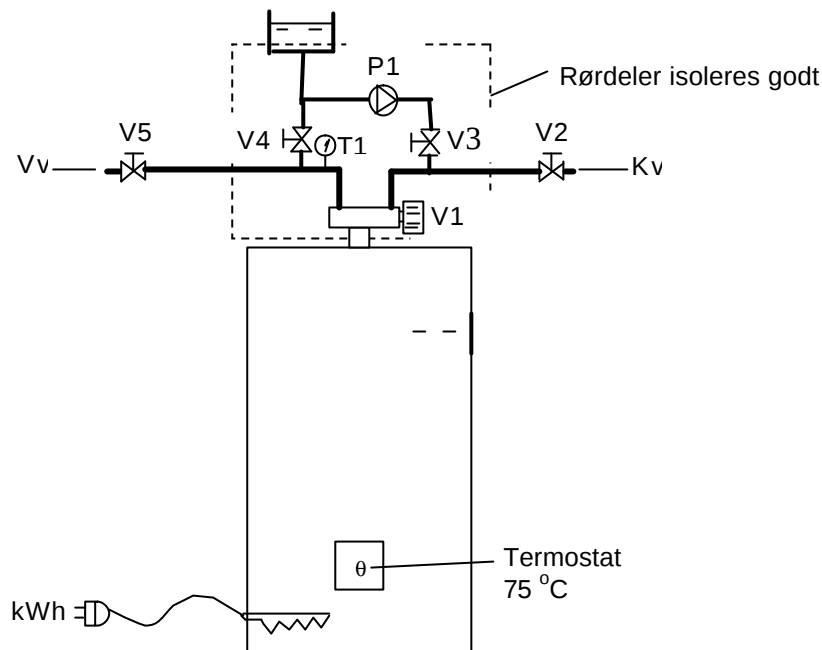
Beskrivelse av målemetoder

Metode 1



1. Berederen plasseres i et rom hvor varmetapet fra berederen ikke påvirker temperaturen i rommet. Dvs. et stort rom uten vinduer med stor termisk masse, for eksempel i underetasje/kjeller.
2. Koplingsboksen åpnes og termostaten for varmeelementet stilles på 75 °C. Lokket settes på igjen.
3. Pumpen P1 brukes ikke. Ventilene V3 og V4 stenges.
4. Berederens ventiltratt V1 åpnes helt
5. Kv og Vv ventilene V2 og V5 åpnes helt. La vannet strømme ut av V5 inntil det ikke lenger kommer luft, og steng så V2 og V5.
6. Romtemperaturen holdes konstant på 20-22 °C. Romtemperaturen i området rundt berederen logges.
7. Nettkabel fra varmeelementet tilkoples utstyret som skal måle opptatt elektrisk effekt.
8. Sett på spenning.
9. Varm opp bereder i ca. 24 timer for å være sikker på at den blir fullt ladet (kontroller ved å følge med på strømpotaket til varmeelementet).
10. Start registrering/logging av strømpotaket, og følg med på dette i 3 døgn.
11. Gjennomsnittlig varmetap i Watt og varmetap i kWh/døgn beregnes. Det gjøres en vurdering av usikkerhet forbundet med målemetoden.

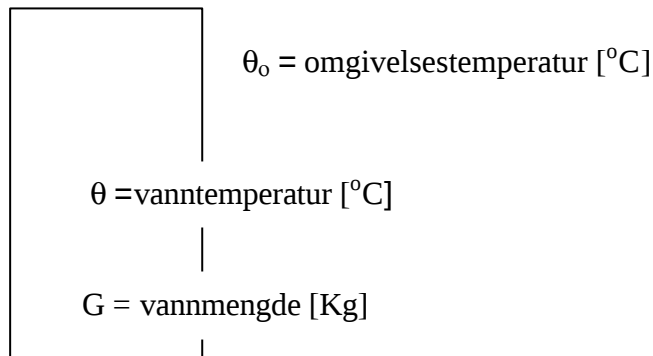
Metode 2



1. Det forutsettes at måling etter Metode 1 er gjennomført, og at berederen derfor er fulladet.
2. Lukk ventil V1. Åpne deretter ventilene V3 og V4.
3. Åpne ventilene V2 og V5 og la vannet strømme ut av V5 til det ikke lenger kommer luft (NB! Ventil V1 skal fremdeles være stengt!).
4. Steng ventilene V2 og V5. Åpne deretter ventil V1.
Start pumpen P1 som må ha meget liten effekt og vannmengde (benytt eventuelt ventil V3 som "strupeventil").
5. Gjør berederen strømløs
6. Middeltemperaturen i berederen logges vha. T1.
Rørsløyfen med pumpe P1 må være meget godt isolert slik at T1 etter kort tid virkelig viser middeltemperaturen på vannet i berederen!
7. Målingene kjøres til temperaturen i berederen er kommet ned mot 40 °C.
8. Berederens varmetapsfaktor (U-verdi) beregnes vha. differensialligningen "Newton's avkjølingslov" som vist i det følgende.

Gjennomsnittlig varmetap i Watt og varmetap i kWh/døgn beregnes.
Det gjøres en vurdering av usikkerhet forbundet med målemetoden.

Beregningsmodell for bestemmelse av U-verdi ut fra målt avkjølingskurve



Endringen av vanntemperaturen $\Delta\theta$ i tidsintervallet Δt er gitt av varmebalansen:

$$K \cdot (\theta - \theta_o) \cdot \Delta t = - G \cdot c_p \cdot \Delta\theta \quad (1)$$

Hvor: $K = U \cdot A$ [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$]

U = U-verdi for isolasjonen av berederen [$\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$]

A = berederens overflaten [m^2]

c_p = spesifikk varme for vannet [J/Kg]

t = tid [s]

Lign. (1) som differensialligning:

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{K \cdot (\theta - \theta_o)}{G \cdot c_p} \quad \text{innfører } k = K / (G \cdot c_p)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = - k \cdot (\theta - \theta_o)$$

Separerer variabler:

$$\frac{d\theta}{\theta - \theta_o} = - k \cdot dt$$

Integrerer:

$$\ln(\theta - \theta_o) = - k \cdot t + C$$

$$\theta - \theta_o = B \cdot e^{-kt}$$

Temperaturen i berederen som funksjon av tiden blir mao.

$$\theta = \theta_o + B \cdot e^{-kt} \quad (2)$$

Eksempel:

Temperatur i berederen når testen startes: 75 °C
Omgivelsestemperaturen: 20 °C

Setter inn i (2) for $t = 0$:

$$75 = 20 + B \cdot 1 \quad \text{dvs: } B = 55 \text{ °C}$$

Setter inn i ligning 2 og løser mhp. k :

$$\frac{\theta - 20}{55} = e^{-kt}$$

$$e^{kt} = 55 / (\theta - 20)$$

$$k = \frac{\ln((55/(\theta - 20)))}{t} \quad (3)$$

Sett inn samhørende verdier for θ og t i ligning 3 og finn k

Ovenfor satte vi $k = K / (G \cdot c_p)$ dvs. $K = k \cdot G \cdot c_p = U \cdot A$

U-verdien for berederen blir da:

$$U = k \cdot G \cdot c_p / A \quad (4)$$

Det forutsettes at alle målinger etter denne metoden utføres med datalogger med relativt hyppige avlesninger, for eksempel hvert 5. minutt (det vil antagelig ta ca. 3 døgn før temperaturen når 40 °C).

Gjennomsnittlig varmetap i Watt beregnes

VEDLEGG 2

Kalibrering av energimålere

notat

Til: Bjørn Tore Larsen

Fra: Petter Nøklebye

Dato: 4. april 2005

Saksnr./arkivnr:

KALIBRERING AV ENERGIMÅLERE I PROSJEKT OM VARMETAP I VARMTVANNSSBEREDERE.

METODE.

ENERGIMÅLERENE BLE SERIEKOPLET OG DET ER MÅLT SPENNING OG STRØM PÅ EN LAST = CA 2000 W MED MULTIMETER TYPE FLUKE 179 TRMS. MULTIMETERET HAR EN NØYAKTIGHET PÅ 0,09% (3*SIGMA) + 2DG, SOM ANSEES Å VÆRE RETT VERDI I DENNE SAMMENHENGEN, IKKE MINST SIDEN DET ER FORSKJELLENE ENERGIMÅLERENE I MELLOM SOM ER MEST INTERESANT I DENNE SAMMENHENGEN. KRAV TIL KALIBRERING GENERELT ER AT INSTRUMENTET DET KALIBRERES MOT SKAL VÆRE EN NØYAKTIGHETSKLASSE BEDRE SPESIFISERT. KRAVET REGNES SOM OPPFYLLT HER.

Resultater:

Energimåler	Strøm [A]	Spenning [V]	Effekt [W]	Avvik fra sann verdi
Sann verdi	8,06	226	1822	0
OSO	8,39	233	1955	+ 7 %
MØRE	8,30	232	1925	+ 6 %
CTC	8,40	229	1923	+ 6 %
HØIAX	8,37	231	1933	+ 6 %
LAGUNA	8,31	229	1903	+ 4 %

Diskusjon:

Målingen er tatt opp i en periode på ca fem minutter. Avlesningene så stabile ut, men det kan være unøyaktigheter i målingene som skyldes at det ikke er mulig å lese av likt i tid. En vil forvente at varmeelementet det ble målt på har en negativ temperaturkarakteristikk, at motstanden derfor blir høyere og effekten mindre, når elementet varmes opp. Denne effekten ble forsøkt redusert mest mulig ved at de tre måleparameterene ble avlest kolonne for kolonne.

4.04.2005

Siv. ing. Petter Nøklebye.