

# Flytende nitrogen

HÅKON SILSETH OG TRYM VARLAND

UiT - Norges Arktiske Universitet

11. oktober 2022

## Sammendrag

I dette forsøket skal vi måle temperaturen til flytende nitrogen. Ved ekstreme temperaturer, som flytende nitrogen har, kan man ikke alltid stole på bruk av termometer for å finne temperaturen. Derfor skal vi måle temperaturen til nitrogenet indirekte ved bruk av et kalorimeter. Vi måler temperaturen til kalorimeteret ved oppvarming, hvor vi tilfører en kjent varmemengde slik at vi kan beregne dets varmekapasitet. Så senker vi et testelement som har nådd likevektstemperatur med nitrogenet i kalorimeteret og måler temperaturendringen til kalorimeteret. Resultatet vi endte opp med var  $T_N = 74.3K \pm 19.7K$  som stemmer godt med temperaturintervallet hvor nitrogen kan eksistere i flytende form (63.15K-77.335K). Vi kan dermed konkludere med at en indirekte måling ved bruk av kalorimeter er en godt egnet metode for måling av temperaturen til flytende nitrogen.

## Kommentarer:

## 1 Formål

Formålet med dette eksperimentet er å finne temperaturen til flytende nitrogen ved å bruke et kalorimeter. Usikkerheten til temperaturen skal vi også finne ved å bruke feilforplantning av målefeil. Målet for forsøket er da å kunne indirekte måle en parameter og bruke feilforplantning for å finne målefeil.

## 2 Teori og definisjoner

For å måle temperaturen til nitrogenet skal vi bruke et kalorimeter, vårt kalorimeter består av et isoporbeholder med vann, et varmeelement og et termometer (og en rørestav). Kalorimeteret fungerer slik at det er tilnærmet isolert fra omgivelsene, i praksis er det umulig at det er helt isolert, men det er tilstrekkelig isolert for vårt forsøk. Vi kan da tilføre en kjent mengde varme og måle økningen i temperatur, varmekapasiteten til kalorimeteret vil da være slik at temperaturstigningen ganget med varmekapasiteten må være lik den totale energien som tilføres systemet, som gir oss følgende ligning.

$$C_0 = \frac{Pt}{\Delta T_1} \quad (1)$$

Hvor  $C_0$  er kalorimeterets varmekapasitet,  $P$  er effekten til varmeelementet,  $t$  er tiden varmeelementet er på, og  $\Delta T_1$  er temperaturstigningen som følger av varmeelementet.

Siden vi nå vet kalorimeterets varmekapasitet, kan vi bruke kalorimeteret til å måle en ukjent temperatur til et objekt med kjent varmekapasitet (eller eventuelt motsatt). Vi skal måle nitrogenets temperatur gjennom et blylodd som bringes i termisk likevekt med nitrogenet, deretter vil det bringes i termisk likevekt med kalorimeteret. Blyloddet vil da bli tilført varme som er lik dets temperaturendring ganger dens masse og spesifikkvarmekapasitet. Kalorimeteret vil avgi varme lik dets varmekapasitet ganger dens temperaturforskjell. Siden vi antar null varmetap til omgivelsene må disse være like, som gir oss ligningen:

$$mc(T_{slutt} - T_N) = C_0 \Delta T_2 \quad (2)$$

$$T_N = T_{slutt} - \frac{C_0}{mc} \Delta T_2 \quad (3)$$

Hvor  $T_N$  er temperaturen til nitrogenet,  $m = 998g \pm 2g$  er blyloddets masse,  $c = 129 J kg^{-1} K^{-1}$  er den spesifikke varmekapasiteten til bly, og  $\Delta T_2$  er temperaturforskjellen fra før og etter vi legger blyloddet i kalorimeteret.

Vi bruker en isoporboks i kalorimeteret for å minske varmetapet til omgivelsene, ettersom at isopor er en veldig god isolator hjelper det mye, men det fremdeles

slik at noe varmetap er uungåelig. Kalorimeteret vil alltid ha en varmeoverføring til omgivelsene slik at over tid, vil kalorimeteret nå likevektstemperatur med omgivelsene. Heldigvis kan vi kompensere for dette. Før og etter oppvarmingen vil temperaturen til kalorimeteret kunne tilnærmes med lineære linjer. Vi kan deretter konstruere en loddrett linje mellom disse to baselinjene. Vi vil nå få to trekanten som er innelukket mellom linjene og grafen vår, vi må passe på at disse trekantene er like store. Nå vil den loddrette linja være temperaturendringen som kommer fra varmeelementet, uten varmeoverføring med omgivelsene. (Se figur 6)

Måleusikkerheten til nitrogenets temperatur må vi også regne ut, det skal vi gjøre på følgende måte. Grenseavviket til en beregnet størrelse vil være lik summen av de partiellderiverte ganger grenseavviket til størrelsen vi partiellderiverte med hensyn til. Grenseavviket til  $C_0$  blir da:

$$\delta C_0 = \frac{\partial C_0}{\partial P} \delta P + \frac{\partial C_0}{\partial t} \delta t + \frac{\partial C_0}{\partial \Delta T_1} \delta \Delta T_1 \quad (4)$$

Utgangspunktet for grenseavviket til  $T_N$  regnes ut på samme måte. Grenseavvikene til  $P$ ,  $t$  og  $\Delta T_1$  er kjente størrelser vi vet ut ifra instrumentene vi bruker.

## 3 Eksperimentelt oppsett og framgangsmåte

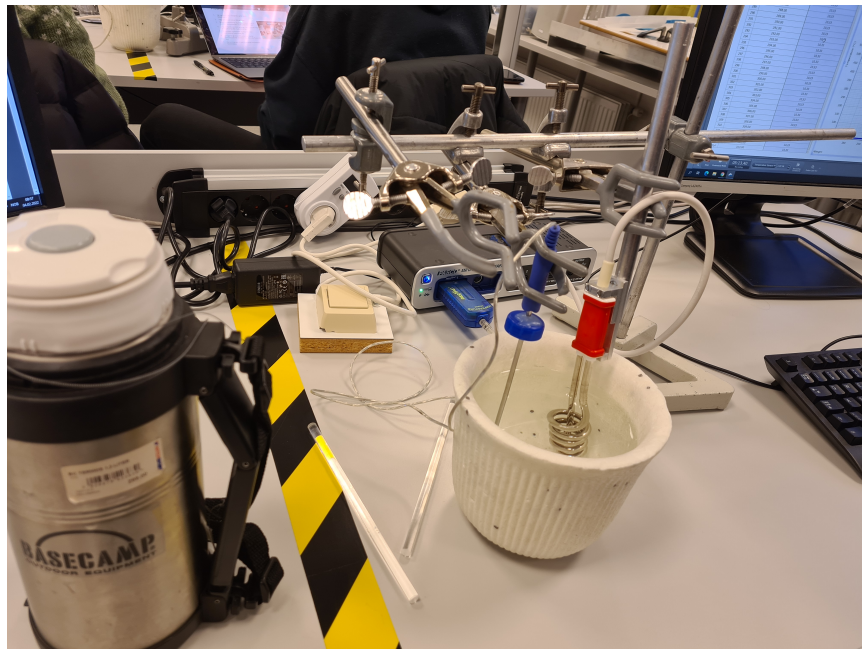
### 3.1 Utstysliste

- Kalorimeter: isoporboks med temperatursensor og varmeelement.
- Kontrollenhet PASCO universal interface 850 (Usikkerhet  $\pm 0.1mV$ )
- Pasco termometer PS-2125 (Usikkerhet  $\pm 0.5^\circ C$ )
- Effektmeter
- Flytende nitrogen
- Prøveelement (blylodd)
- Isoporboks
- Rørepinne
- Strømbryter

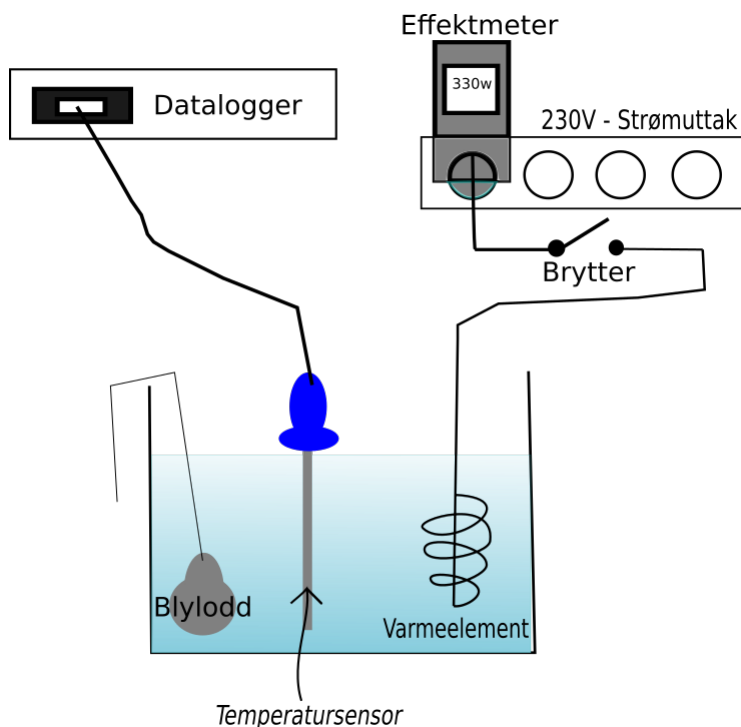
### 3.2 Oppsett

Oppsettet vårt består av et kalorimeter bestående av en isoporboks fylt med vann (0.7L-1.1L), med en temperatursensor og et varmeelement. Varmeelementet er koblet opp til en bryter, slik at vi lett kan skru det av og på, og et

effektmetr, slik at vi kan måle effekten til varmeelementet. Temperatursensoren er koblet til en Pasco kontrollenhet slik at vi får målt datapunktene. Så har vi også et testelement (blylodd) som vi skal senke i kalorimeteret etter det har vært i termosen med flytende nitrogen. Oppsettet vårt ser slikt ut:



Figur 1: Oppsett, bilde



Figur 2: Oppsett, skisse

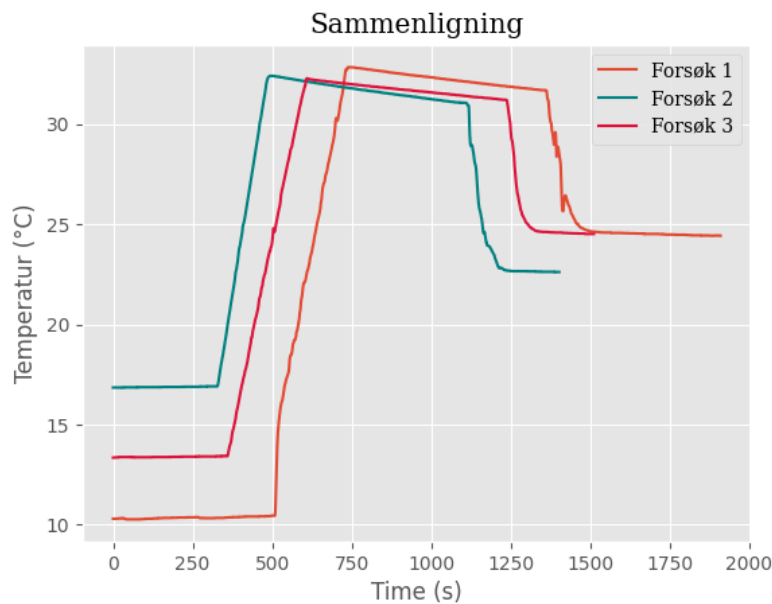
### 3.3 Metode/Fremgangsmåte

Vi startet med å fylle isoporboksen med kaldt vann (0.7L - 1.1L), og vi la blyloddet i termosen med flytende nitrogen. Deretter logget vi temperaturen til kalorimeteret mot tid i ca 300 sekunder. Vi målte temperaturen med to desimaler med sampling på 1 Hz. Etter ca 300 sekunder skrudde vi på varmeelementet og lot det være på til kalorimeteret hadde en temperatur i overkant av  $30^{\circ}\text{C}$ , og vi noterte effekten til varmeelementet. Under hele oppvarmingen, og ut resten av forsøket rørte vi aktivt i kalorimeteret for å unngå temperaturforskjeller i vannet. Da kalorimeteret var ved ønsket temperatur ble varmeelementet avslått og vi lot kalorimeteret stå i ca. 10 minutter. Deretter tok vi blyloddet ut av nitrogenet og la det i kalorimeteret, her var vi veldig obs på å unngå kontakt mellom blyloddet og temperatursensoren. Så målte vi temperaturen til kalorimeteret til temperaturen ble stabil i et par minutter. Vi gjentok så forsøket 2 ganger til med litt ulik vannmengde for hver gang.

## 4 Resultater

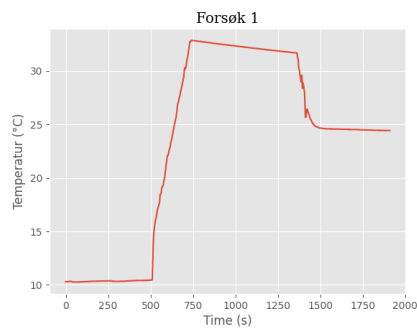
Vi kan se på resultatene at vi fikk de forventet grafene for eksperimentet. Med gode kurveforandringer som viser til når varmeelementet ble slått på og av,

vi kan også se når blyloddet ble senket i vannet. Vi gjentok forsøket tre ganger, vi kan se i figur 3 en sammenligning av forsøkene våres. Der vi har målt temperaturen som funksjon av tiden.

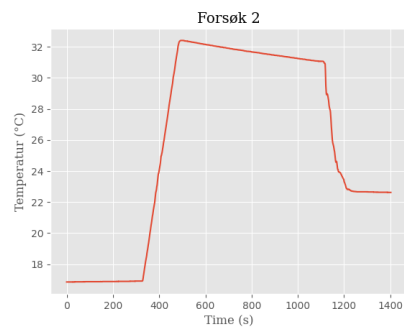


Figur 3: Forsøk

I 4a og 4b, kan vi se kvaliteten på disse ikke er av samme kvalitet som forsøk 3 (5). Grunnen til disse utfallene i forsøk 1 og 2, ville kommet av for dårlig omrøring i kalorimeteret. I forsøk 1 (4a) vil det se ut som at avvikene i kurven vil kunne komme fra dårlig omrøring, da vi ser drastiske endringer i temperaturen. Andre muligheter som har ført til avvikene i forsøk 1 og 2, er at det kunne ha vært kontakt mellom blyloddet og temperatursensor.

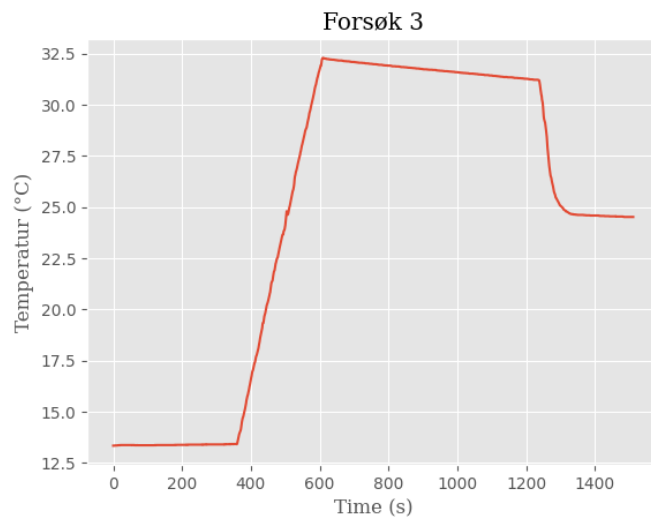


(a) Forsøk 1



(b) Forsøk 2

Det er tydelig at det beste datasettet, av de 3 forsøkene som ble gjort er figur 5. Da vi kan se at kvaliteten av dette datasettet består av små avvik, som fører til at grafen får en fin tydelige avlesbar linje, grunnet konstant omrøring.



Figur 5

For at vi skal kunne finne temperaturen til flytende nitrogen, så setter vi energien som er tilført loddet fra nitrogenet og energien som er tilført til loddet fra kalorimeter lik hverandre og regner ut for temperaturen til nitrogenet ( $T_N$ ). Likningen til nitrogenet vil være gyldig vis vi ikke har noe varmeutveksling mellom kalorimeteret og omgivelsene, dette er umulig å unngå derfor vil vi

kompensere med baselinjer som vist i figur 6.

$$E_{\text{til loddet}} = m \cdot c \cdot (T_{\text{slutt}} - T_N) \quad E_{\text{fra kalorimeter}} = C_0 \cdot \Delta T_2$$

$$m \cdot c \cdot (T_{\text{slutt}} - T_N) = C_0 \cdot \Delta T_2$$

$$T_N = T_{\text{slutt}} - \frac{C_0}{m \cdot c} \cdot \Delta T_2 \quad (5)$$

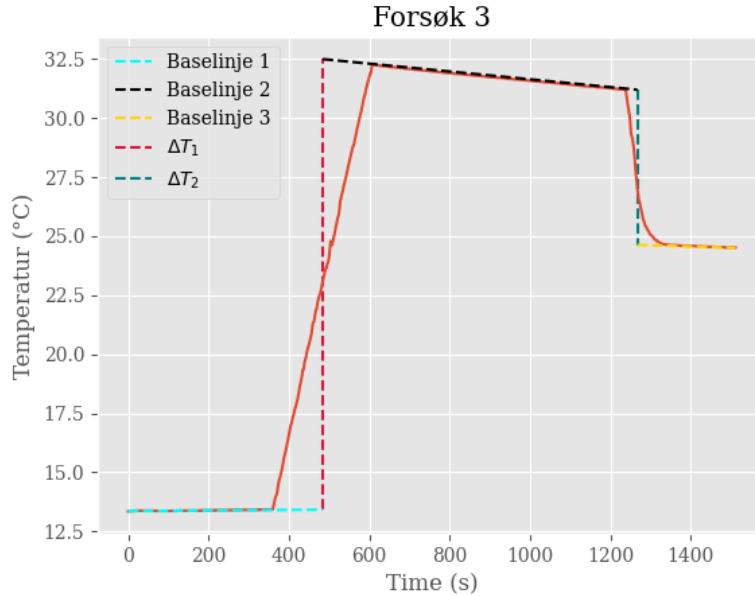
Her  $C_0$  vil være varmekapasiteten til kalorimeteret,  $m$  er massen til blyloddet, verdiene til disse konstantene er oppgitt i tabell 1. Varmekapasiteten til kalorimeteret er ukjent, vi finner varmekapasiteten ved å sette energien som trengs for å varme opp kalorimeter mot energien som tilføres fra varmeelementet.

$$E_{\text{til kalorimeter}} = C_0 \cdot \Delta T_1 \quad E_{\text{fra varmeelement}} = P \cdot t \quad (6)$$

$$C_0 \cdot \Delta T_1 = P \cdot t \quad (7)$$

$$C_0 = \frac{P \cdot t}{\Delta T_1} \quad (8)$$

Her er  $\Delta T_1$  er temperaturendringen vist i figur 6,  $t$  er tiden som varmeelementet er på og  $P$  er effekten til varmeelementet. I figur 5 er baselinjene funnet ved lineær regresjon, og de vertikale linjene er regnet ut med hjelp programmering slik at trekantene som dannes har omtrent likt areal.



Figur 6: Forsøk 3



Med bruk av baselinjene har vi da verdiene for  $\Delta T_1$  og  $\Delta T_2$ , Verdiene vi trenger for å regne ut nitrogenets temperatur og usikkerhetene er.

Tabell 1

$P = 330W \pm 5\%$	$t = 252s \pm 0.5s$
$\Delta T_1 = 22.58K \pm 0.5K$	$\Delta T_2 = 6.60K \pm 0.5K$
$c = 129J/kg \cdot K$	$T_{slutt} = 297.75K \pm 0.5K$
$m = 0.998kg \pm 0.002Kg$	

Da har vi alle verdier som trengs for å regne ut varme kapasiteten for kalorimeteret, da vil vi også ha alle verdiene for å finne temperaturen til nitrogenet.

$$C_0 = \frac{P \cdot t}{\Delta T_1} \quad (9)$$

$$C_0 = \frac{330W \cdot 252s}{19.08K} = 4358J \quad (10)$$

Tempraturen til nitrogenet vil da bli.

$$T_N = T_{slutt} - \frac{C_0}{m \cdot c} \cdot \Delta T_2 \quad (11)$$

$$T_N = 297.8K - \frac{4358J}{0.998kg \cdot 129J/kg \cdot K} \cdot 6.6K = 74.3K \approx -198^\circ C \quad (12)$$

Temperaturen til det flytende nitrogenet er  $-198^\circ C$  som noe riktig da nitrogen er flytende mellom temperaturene  $-210^\circ C$  og  $-195^\circ C$ .

Vi må også se på usikkerheten til resultatet vårt, for å finne usikkerheten til  $T_N$  må vi først finne usikkerheten til  $C_0$

$$\delta C_0 = \frac{\partial C_0}{\partial P} \delta P + \frac{\partial C_0}{\partial t} \delta t + \frac{\partial C_0}{\partial \Delta T_1} \delta \Delta T_1 \quad (13)$$

$$(14)$$

Hvor

$$\frac{\partial C_0}{\partial P} = \frac{C_0}{P} \quad (15)$$

$$\frac{\partial C_0}{\partial t} = \frac{C_0}{t} \quad (16)$$

$$\frac{\partial C_0}{\partial \Delta T_1} = \frac{C_0}{\Delta T_1} \quad (17)$$

Som gir

$$\delta C_0 = C_0 \left( \frac{\delta P}{P} + \frac{\delta t}{t} + \frac{\delta \Delta T_1}{\Delta T_1} \right) \quad (18)$$

Siden vi nå vet usikkerheten til  $C_0$  kan vi regne ut usikkerheten til  $T_N$ . Vi har:

$$T_N = T_{slutt} - K\Delta T_2 \quad (19)$$

Hvor  $K = \frac{C_0}{mc}$ , vi introduserer  $K$  her for å gjøre utregningen litt lettere. Først må vi regne ut usikkerheten til  $K$ , som vi kan gjøre på samme måte som for  $C_0$  for å få:

$$\delta K = K \left( \frac{\delta C_0}{C_0} + \frac{\delta m}{m} + \frac{\delta c}{c} \right) \quad (20)$$

Så kan vi regne ut usikkerheten til  $T_N$ , først må vi finne de partiellderiverte:

$$\frac{\partial T_N}{\partial T_{slutt}} = 1 \quad (21)$$

$$\frac{\partial T_N}{\partial \Delta T_2} = -K \quad (22)$$

$$\frac{\partial T_N}{\partial K} = -\Delta T_2 \quad (23)$$

Som gir oss det endelige resultatet for  $T_N$ :

$$\delta T_N = \delta T_{slutt} + K\delta\Delta T_2 + \Delta T_2\delta K \quad (24)$$

Minustegnene er fjernet siden vi kun er interessert i absoluttverdier, en negativ usikkerhet gir ikke fysisk mening siden det er snakk om grenseavviket. Nå kan vi sette inn tallverdiene våre for usikkerheten til målingene for å finne usikkerheten til  $T_N$

$$\delta m = \pm 0.002Kg \quad (25)$$

$$\delta P = \pm 16.5W \quad (26)$$

$$\delta \Delta T = \pm 1.2\% \quad (27)$$

$$\delta T_{slutt} = \pm 0.5K \quad (28)$$

$$\delta t = \pm 0.5s \quad (29)$$

$$\delta c \approx 0 \quad (30)$$

$$\delta C_0 = 4358JK^{-1} \left( \frac{16.5W}{330W} + \frac{0.5s}{252s} + \frac{0.5K}{22.6K} \right) = 323JK^{-1}$$

$$\begin{aligned} \delta K &= \frac{4358JK^{-1}}{0.998Kg * 129JKg^{-1}K^{-1}} \left( \frac{314JK^{-1}}{4358JK^{-1}} + \frac{0.002Kg}{0.998Kg} + \frac{0JKg^{-1}K^{-1}}{129JKg^{-1}K^{-1}} \right) \\ &= 2.51 \end{aligned}$$

$$\delta T_N = 0.5K + \frac{4358}{0.998Kg * 129JKg^{-1}K^{-1}} * 0.012 * 6.603K + 6.603K * 2.51$$

$$\delta T_N = 19.7K$$

(Avrundede verdier er ikke brukt i selve utregningen, men er vist her for å unngå mange desimaler.)

Vi ender da opp med et endelig svar på temperaturen til det flytende nitrogenet, med usikkerhet lik:

$$\underline{T_N = 74.3K \pm 19.7K} \quad (31)$$

## 5 Konklusjon

Med hjelp av lineær regresjon og vertikale linjer i datasettet, med lineær regresjon fikk vi god kompensering for varmeutveksling og vi endte opp med fine verdier for å finne temperaturen til flytende nitrogen. Forsøk 3 ga det beste datasettet, da forsøk 1 og 2 viste til en del avvik i plottet, derfor ble det utført beregninger av forsøk 3. Vi fant at temperaturen til det flytende nitrogenet må være  $-198^\circ C$ , som er innen for temperatur spennet for at nitrogen skal være flytende. Det virker rimelig at dette vil være den riktige temperaturen og ikke kaldere, da temperaturen vil bli påvirket av varmeutveksling mellom omgivelsene og nitrogenet. Vi fikk at usikkerheten til det flytende nitrogenet vil være  $\pm 19.7K$ , som kan virke noe stort men er forventet ut ifra usikkerheten til måleinstrumentene vi har brukt. I utregningen er det ikke tatt i betrakning fysiske avvik, som dårlig omrøring eller kontakt mellom blylodd og temperatur-sensor.

Til utregningene brukte vi datasettet fra forsøk 3 (5), der vi hadde færrest avvik i plottet, så vi kan også ta i betrakning at avvikene i dette forsøket er små. Vi kan derfor konkludere med at et kalorimeter egner seg for å indirekte måle temperaturen til flytende nitrogen.

## **A Appendix**

### **A.1 Kilder**

Pedersen, B. (2019, 30. September). Varmekapasitet. Hentet fra <https://snl.no/varmekapasitet>