

Eksperimentell bestemmelse av nødvendig nedkjølingstid for vørter

25.10.14

1 Introduksjon

Når man lager øl trengs vørter. Vørteren må kokes, men gjæren kan ikke tilsettes før vørteren er kald igjen. Nedkjølingen av kokt vørter bør gå så fort som mulig; en vørterkjøler er fryktelig fin å ha når øl skal brygges. For å estimere nødvendig kjølningstid av vørter som holder 100 grader, ble det gjennomført et forsøk av nedkjøling av vann med en kjøler levert av KVÅLSTABØ KJØLERMAKERITM.

2 Laboppsett og beskrivelse av eksperiment

En kjele ble fylt med 25 liter vann, tilsvarende dimensjonert vørtermengde for kjøleren. Vannet i kjelen hadde en initiell temperatur på 47 grader. Romtemperaturen under forsøket var behagelige 23 grader, mens innførselstemperaturen på vannet holdt gufne 9 grader. Eksperimentet ble avsluttet etter 32 minutter, da vannet i kjelen holdt 11 grader. Laboppsettet er vist i figur 1 og 2.

3 Teori, resultat, diskusjon og konklusjon

De tre første målepunktene ble sett bort i fra, og en minste-kvadraters kurvetilpasning gjennomført på de resterende punktene. Kurvetilpasningen var basert på følgende matematiske modell:

$$T = a + b \cdot \exp(c \cdot t) \quad (1)$$

hvor T er temperatur i Celsius, t er tid, og a , b og c er parameterne som skal tilpasses. Kurvetilpasningen ga følgende funksjon for temperaturforløpet:

$$T = 9.09 + 34.9 \exp(-0.0882\bar{t}) \quad (2)$$

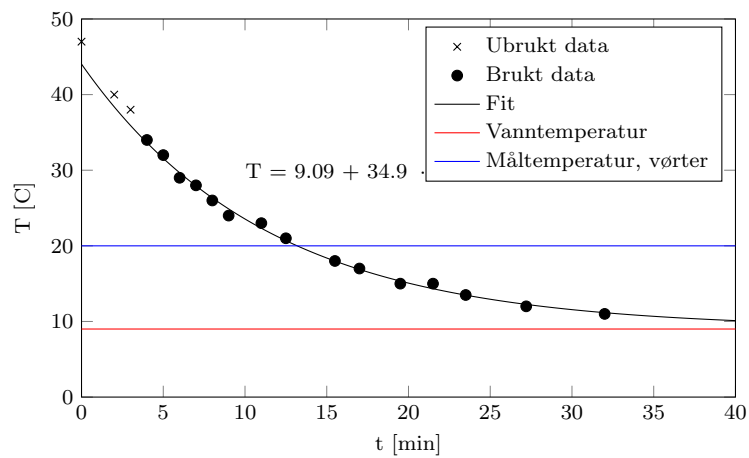
Målepunktene og kurvetilpasningen er vist i figur 3. Parameterne bestemt over baserer seg på at $\bar{t} = 0$ når temperaturen holder 47 grader (starttemperatur). I en reell ølbryggingssituasjon vil vørteren holde 100 grader, og et uttrykk for



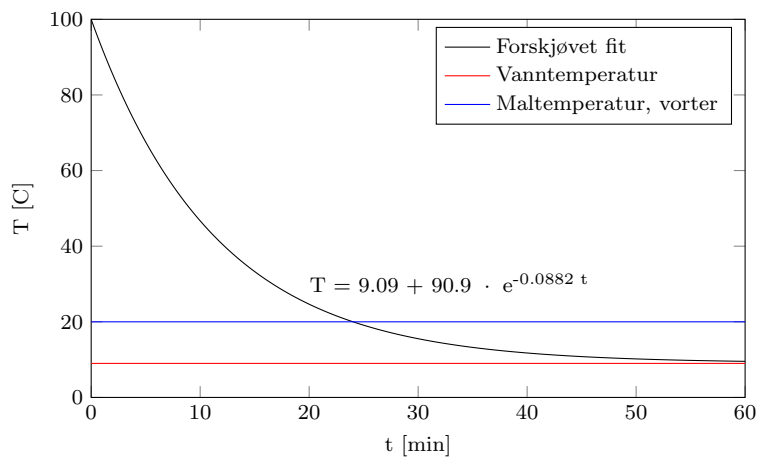
Figur 1: Hyttekjele fylt med vann og vørterkjøler i aksjon. Rotete kjøkken er påkrevd.



Figur 2: Digitalt avlesningsapparat for temperaturmåling plassert i kjelen under forsøket.



Figur 3: Kurvetilpasning av måledata.



Figur 4: Forskjøvet kurvetilpasning.

temperaturen gitt $t = 0$ ved 100 grader er derfor mer nyttig. For å oppnå dette innføres følgende sammenheng:

$$t = \bar{t} - t_{43^{\circ}\text{C}} \quad (3)$$

hvor $t_{43^{\circ}\text{C}} = 10.84\text{min}$ er bestemt ved å løse ut for t når likning 2 er satt lik 100. Ved å kombinere likning 2 og 3, kunne følgende funksjon for temperaturforløpet bestemmes:

$$T = 9.09[1 + 10 \exp(-0.0882t)] \quad (4)$$

Denne funksjonen er illustrert i figur 4 sammen med innførselstemperatur på vannet og måltemperatur for vørteren. Ved å løse likningen over gitt $T = T_{\text{vørter}} = 20^{\circ}\text{C}$ for t , kunne nedkjølingstiden for 25 liter vørter ved 100°C estimeres til 24 minutter .