

Elgtungen bestående av 75% vann

Celina Klefstad Storaker og Chulaporn Bunprasoet

November 2024

Introduksjon

Vi har valgt å utføre dette forsøket med et glass med vann. Elgtunge er ikke det letteste eller billigste å få tak i for tiden. Men muskelvevet til pattedyr består av omtrent 75% vann, så det å utføre dette forsøket med vann kan likevel gi et omtrentlig bilde av elgtungens temperaturnedgang [Bjørneboe et al., 2023]. Vann er kanskje ikke så artig, men for oss kjemikere er vann veldig interessant! Og så klart livsviktig for alle levende organismer. Som vi skal se nærmere på senere er også varmekapasiteten til vannet utrolig stor, og det er derfor veldig interessant å undersøke den!

Teori

Differensialligninger er svært viktige i ingeniørfag og brukes til å finne modeller for ulike problemstillinger. Differensialligninger tar utgangspunkt i endring, enten det er økning eller nedgang, for å finne modeller for det dynamiske systemet [of Encyclopaedia Britannica, 2024]. Newtons avkjølingslov uttrykkes som en differensialligning som må løses med hensyn på funksjonen T , og man må ha et par opplysninger om systemet for å få den fullstendige løsningen. Man trenger starttemperaturen i legemet som avkjøles, og temperaturen i omgivelsene som initialkrav. I tillegg er det nødvendig med enda en opplysning for å finne koeffisienten α . I Newtons avkjølingslov er temperaturendringen proporsjonal med temperaturforskjellen mellom legemet og omgivelsene.

$$\dot{T}(t) = \alpha(T_K - T(t))$$

Løsningen gir et funksjonsuttrykk for temperaturen i legemet som funksjon av tiden, og er en eksponentialfunksjon. Dersom α er liten går temperaturnedgangen sakte, og motsatt dersom α er stor går temperaturnedgangen raskt. Dette avhenger naturligvis av varmekapasiteten til legemet, det vil si dets evne til å absorbere og holde på varme. For vann er varmekapasiteten $4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Vannets varmekapasitet er veldig stor i forhold til andre forbindelser, faktisk har vann den største varmekapasiteten av alle væsker. Noe av grunnen til

dette er vannmolekylets evne til å danne hydrogenbindinger med andre vannmolekyler. Når vannet absorberer varme blir disse bindingene brutt og molekylene kan bevege seg friere [Harvey, 2000]. Når vannets temperatur synker blir hydrogenbindingene gjendannet og store mengder energi blir frigitt i form av varme til omgivelsene, ettersom hydrogenbindinger er svært energirike, selv om de er intermolekylære bindinger. Dette er blant annet sentralt i klimaforskningen ettersom verdenshavene holder på mye av varmen som samles opp i atmosfæren som bidrar til en treigere global oppvarming. Om det ikke hadde vært for vannets store varmekapasitet hadde den globale oppvarmingen knerta oss for lenge siden!

Fremgangsmåte

Etter å ha kookt opp litt vann og helt det over i et keramikkrus, ble temperaturen i vannet målt hvert andre minutt i én time med et termometer. Da alle nødvendige data var samlet, var det mulig å lage en grafisk fremstilling av resultatene i Python. Ut ifra temperaturen som ble målt i omgivelsene og starttemperaturen, kan man regne seg frem til et uttrykk for vannets temperaturendring med utgangspunkt i Newtons avkjølingslov. Ved å løse denne enkle differensiallikningen får man uttrykket som også er fremstilt grafisk i samme koordinatsystem som de målte resultatene.

Resultater

$$T_K = 24.0$$

$$T(0) = 79.9$$

$$\dot{T}(t) = \alpha(T_K - T(t))$$

$$\dot{T}(t) + \alpha T(t) = \alpha T_K$$

$$\lambda = \alpha$$

$$\beta = \alpha T_K$$

$$T(t) = e^{\lambda t}$$

$$\dot{T}(t)e^{\lambda t} + \lambda e^{\lambda t}T(t) = \beta e^{\lambda t}$$

$$\frac{d}{dt}(e^{\lambda t}T(t)) = \beta e^{\lambda t}$$

$$\int \frac{d}{dt}(e^{\lambda t}T(t)) dt = \int \beta e^{\lambda t} dt$$

$$e^{\lambda t}T(t) - \frac{\beta}{\lambda}e^{\lambda t} = C$$

$$T(t) - \frac{\beta}{\lambda} = \frac{C}{e^{\lambda t}}$$

$$T(t) = Ce^{-\lambda t} + \frac{\beta}{\lambda}$$

$$T(t) = Ce^{-\alpha t} + T_K$$

$$T_K = 24.0$$

$$T(t) = Ce^{-\alpha t} + 24.0$$

Bruker initialverdikravet $T(0) = 79.9$

$$T(0) = Ce^0 + 24.0 = 79.9$$

$$C = 55.9$$

$$T(t) = 55.9e^{-\alpha t} + 24.0$$

$$T(2) = 75.9$$

$$55.9e^{-2\alpha} + 24.0 = 75.9$$

$$e^{-2\alpha} = \frac{51.9}{55.9}$$

$$-2\alpha = \ln(0.92844)$$

$$\alpha = 0.0371$$

$$T(t) = 55.9e^{-0.0371t} + 24.0$$

Tid (min)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	...	60
Temperatur ($^{\circ}C$)	79.9	75.9	72.7	70.1	67.3	64.5	62.1	60.1	58.0	...	35.8

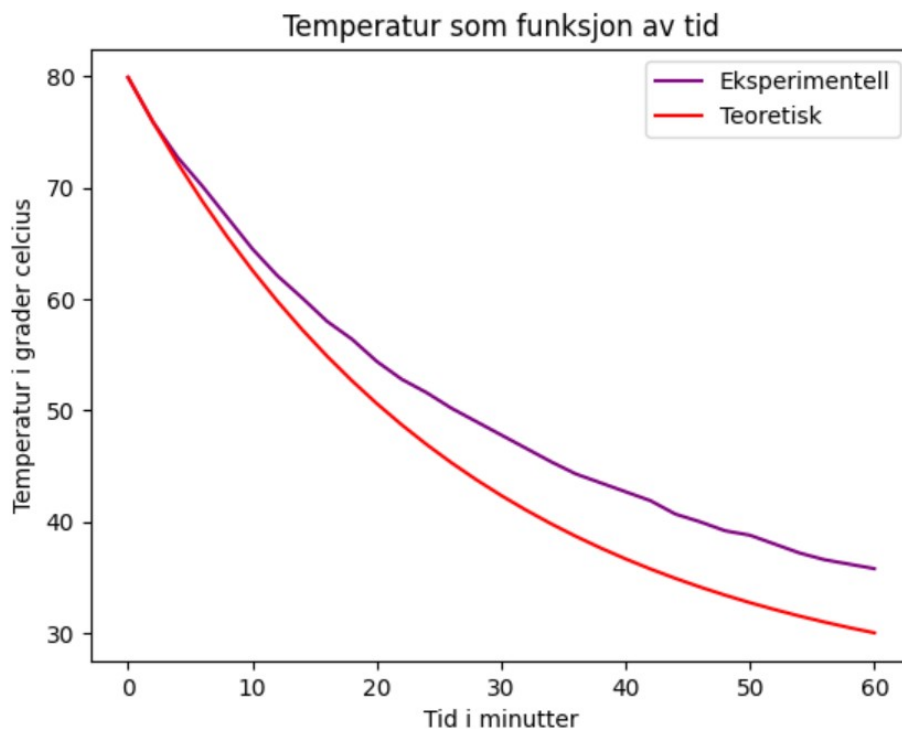


Figure 1: Både den teoretiske og den eksperimentelle kurven plottet i samme koordinatsystem.

Diskusjon

Den eksperimentelle kurven avviker fra den teoretiske i noen grad på grunn av at Newtons avkjølingslov ikke tar hensyn til faktorer som fordampning og ujevn temperatur i rommet. Modellen blir dermed for "enkel", og fanger ikke opp detaljer som kan ha stor innflytelse på resultatene i virkelige eksperimenter. I tillegg er det noen feilkilder som kan komme av utstyret som ble brukt.

Det er noen svakheter ved Newtons avkjølingslov som kan ha påvirket resultatene av forsøket. Newtons avkjølingslov antar at temperatur i omgivelsene, T_K , er konstant, men i praksis kan omgivelsestemperaturen variere over tid, noe som gjør modellen mindre presis i slike situasjoner. Hybelen forsøket ble gjort i er veldig liten så antakeligvis er temperaturen ganske konstant i hele rommet, men nå for tiden er det kaldt så det kan hende en varmeovn ble skrudd på midt under forsøket, noe som kan ha økt temperaturen i rommet. Dette kan igjen ha gjort temperaturforskjellen mellom omgivelsene og vannet mindre halvveis gjennom forsøket, slik at temperaturnedgangen plutselig gikk saktere. Dette kommer av at temperaturendingen er proporsjonal med differansen mel-

lom temperaturen i vannet og omgivelsene, så når denne differansen ble mindre, ble også nedgangen mindre. Dette er det også mulig å se av den eksperimentelle kurven sammenlignet med den teoretiske.

I tillegg kan ulike materialer ha ulik oppførsel, og modellen tar ikke hensyn til materialets spesifikke egenskaper, som for eksempel varmekapasitet. Derfor kan modellen være upresis for slike eksperimenter. Det ble brukt et keramikkrus til å oppbevare vannet i, i dette eksperimentet. Keramik har lavere termisk ledningsevne sammenlignet med metaller som stål eller aluminium [Ceramics,]. Dette betyr at keramiske materialer holder varmen lenger og isolerer mer enn metallbeholdere. Dette er grunnen til at mange kaffekopper og ildfaste former er keramiske, nettopp for å holde kaffen eller lasagnen varmere i lengre tid. Dette kan føre til at vannet i koppen kjøles ned treigere enn den teoretiske modellen tilsier. Derfor ligger den eksperimentelle kurven høyere enn den teoretiske kurven, ettersom mindre varme slipper ut til omgivelsene over tid.

Newtons avkjølingslov tar heller ikke hensyn til at fordampning er noe som forekommer under oppvarming av væsker. Når en væske varmes opp vil molekylene med høy kinetisk energi forlate væskeoverflaten og stige opp i luften som gass, også kjent som fordampning [Petrucci et al., 2023]. Når noe av væsken fordamper mister systemet energi som gasmolekylene tar med seg, dermed senkes den indre kinetiske energien i systemet, og temperaturen avtar. Dette gjør at temperaturen i systemet avtar saktere enn den ville gjort uten fordampning, ettersom temperaturforskjellen mellom systemet og omgivelsene blir mindre, og temperaturendringen er proporsjonal med denne differansen i Newtons avkjølingslov. Derfor er den eksperimentelle kurven høyere enn den teoretiske. Dette problemet kunne vært løst om forsøket ble gjort i et lukket system, men det er litt vanskelig å utføre i praksis med utstyr en gjennomsnittlig student har på hybelkjøkkenet.

Vannets varmekapasitet har mye å si for hvor raskt eller sakte temperaturnedgangen er. Av begge kurvene er det tydelig at det går ganske sakte, også ettersom verdien for α er liten. Det er litt vanskelig å si om temperaturnedgangen til en elgtunge hadde gått raskere eller saktere, for dette avhenger av de andre materialene som elgtungen består av, som muskelvev. Og muskelvev har ikke blitt undersøkt i dette eksperimentet. Men som beskrevet i teorien har vannet en veldig stor varmekapasitet grunnet intermolekulære hydrogenbindinger. Og elgtungen består antakeligvis av store mengder vann slik muskelvevet til de fleste pattedyr gjør, og derfor er det ikke helt på trynet å gjøre denne forenklingen. Vitenskapelige modeller er jo i praksis forenklinger av virkeligheten.

Termometeret som ble brukt for å måle temperaturen var et ganske billig mattermometer fra Clas Ohlson. Det er nok ikke det mest nøyaktige termometeret der ute. I tillegg viser termometeret temperaturen med kun én desimal, som gir dårligere nøyaktighet enn et termometer som viser flere desimaler. Men

ettersom alle temperaturene i forsøket er oppgitt med kun én desimal, blir effekten av denne feilkilden litt mindre.

Konklusjon

Dette eksperimentet har vist at Newtons avkjølingslov er en god approksimasjon for å modellere temperaturredringer i et system. Men den har noen svakheter som blir tydelige når de empiriske resultatene blir sammenlignet med de teoretiske. Fra begge kurvene er det også tydelig at vannets temperatur avtar sakte på grunn av vannets store varmekapasitet. Dermed er det også sannsynlig at elgtungen vil ha en relativt treig temperaturnedgang.

References

- [Bjørneboe et al., 2023] Bjørneboe, G.-E., Hauge, A., and Svihus, B. (2023). vann (fysiologi).
- [Ceramics,] Ceramics, P. Thermal conductivity.
- [Harvey, 2000] Harvey, A. (2000). How is heat capacity of water related to hydrogen bonding?
- [of Encyclopaedia Britannica, 2024] of Encyclopaedia Britannica, T. E. (2024). differential equation.
- [Petrucchi et al., 2023] Petrucchi, Herring, Madura, and Bissonette (2023). Petrucchi’s general chemistry. 12:246–251.