

Flydevægten – Rømers hydrostatiske målinger

Erling Poulsen, Rundetårn.

Flydevægten (også kaldt hydrometer eller aræometer) er i dag et instrument som mest er benyttet af hjemmebryggere, men tidligere var apparatet meget brugt til massefyldebestemmelser af væsker. Der findes to hovedtyper af instrumentet, mest kendt er den type hvor halsen er påført en skala, så man udfra hvor langt vægten synker ned i væsken kan aflæse dennes massefylde, eller andet der afhænger deraf f.eks. alkoholprocent.

På den anden type er derimod ét mærke på halsen samt en skål oven på flydevægten; når man skal måle en massefylde sænkes vægten ned i væsken, og der lægges et antal lodder på skålen indtil vægten er sunket ned til mærket, man fortrænger altså ved alle målinger samme volumen og man får vha. Arkimedes princip at den relative massefylde (vand sættes til 1) bliver $\rho = 1 + m/m_0$, hvor m er vægten af lodderne i skålen og m_0 er vægten af det tomme instrument. Fahrenheit¹ får mange steder æren for opfindelsen af denne type flydevægt, han beskriver instrumentet som nyt i sin artikel *Aræometri novi descriptio & usus* (En ny flydevægts beskrivelse og brug), men efter at Ole Rømers² notesbog blev genfundet i begyndelsen af dette århundrede, må æren tilskrives ham (i dag er en videreudvikling af instrumentet kendt som *Nicholson's Hydrometer*); Fahrenheit har sikkert set Rømers flydevægt ved sit besøg hos Rømer i 1708, ligesom han ved sit besøg lærte meget om termometerfremstilling³.

Det alvorligste problem ved kalibreringen af den første type er, at det øverste glastrør, hvor skalaen er, skal have nøjagtig samme diameter over det hele hvilket er svært at sikre. Blot den mindste unøjagtighed og instrumentet viser meget galt (hvis man da ikke vil have store problemer med inddelingen i enheder). Fordelen ved rømerinstrumentet er at det altid skal være lige langt nede i væsken og unøjagtigheder derfor ingen rolle spiller. Hvis det så oven i købet lykkes at lave et instrument der nøjagtigt vejer 100 eller 1000 gange så meget som ens standardlodder vil disse kunne bruges og omregning til relativ massefylde består blot i at tælle lodderne. At det netop er det Rømer forsøger, fremgår ne-

denfor, det lykkes dog ikke – instrumentet synker ikke nok, men problemet løses på bekostning af den nemme omregning.

De ældste beretninger om et apparat af denne type stammer fra o. 400 (Hypatia⁴ i Aleksandria), men er tilsyneladende gået i glemmebogen. Den næste gang et apparat nævnes er i Samuel Peppy's dagbog for 9. december 1668⁵ hvor Boyle viser et frem: *and did give me a glass bubble, to try the strength of liquors with.*

Robert Boyle omtaler selv sit apparat i "*New Essay instrument*"⁶, hvor hans artikel egentlig handler om hvordan man let undersøger om en guldmønt er falsk. Men ideen til apparatet har han fra en flydevægt han på et tidligere tidspunkt havde præsenteret, både beskrivelsen af apparatet og den afbildning der er viser at det er af den type der synker mere eller mindre i væsken afhængigt af dennes massefylde, han skriver bl.a. *...But afterwards considering this little Instrument somewhat more attentively, I thought the application of it might easily be as 'twere inverted, and that, whereas 'twas employed but to discover the differing Gravities of several Liquors, by its various degrees of Immersion in them...*

Rømer beskæftigede sig allerede med hydrometre under sit Parisophold, det viser et brev⁷ fra John Locke til Nicolas Toinard (sendt i 1679), her står: *Derfor har det Rømerhydrometer, som de får lavet til mig, alle de egenskaber, som kan gøre en ting højt værdsat.*

Rømers saltlagemåling

Afsnittet⁸ om saltlagers koncentration, handler om, hvorledes man kan måle hvor mange lod⁹ salt per pot¹⁰ vand, der er i en given lage. Rømer anviser et instrument (flydevægt med vægtskål), til at måle saltkoncentrationen, samt en tabel så man ud fra en målt værdi kan finde denne. I afsnittet er tre tabeller, en af de to første er målt, men hvilken?

Den første tabel angiver hvor meget en saltlage vejer i forhold til vægten af samme mængde vand, hvis vægt sættes til 1000. Den kunne være målt ved at afveje 1000 ort vand (knap en pot) i en kolbe og sætte et mærke på

¹Fahrenheit fortæller om sit instrument i "*Philosophical Transactions*", (1724), bind 33, side 140.

²Ole Rømer (1644–1710).

³*Kvant*, 1993, bind 4(3) (september), side 17.

⁴M. Alic (1986) og http://www.maa.org/pubs/Calc_articles/ma055.pdf side 8

⁵<http://www.pepys.info/1668/1668dec.html>

⁶"*Philosophical Transactions*", juni 1675. Billedet er figur 8.

⁷Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen (2000). side 587.

⁸Thyra Eibe og Kirstine Meyer (1910) side 7ff.

⁹1 pund = 2 mark = 16 uns = 32 lod = 128 qvint = 512 ort = 1/62 af kubikfodens vandvægt = 499,75g.

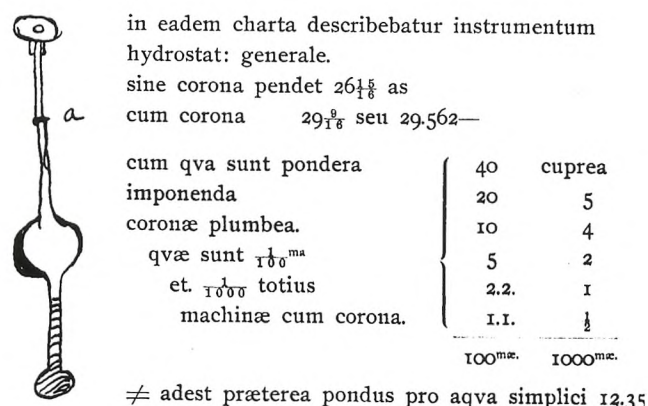
¹⁰1 pot = 1/32 kubikfod = 968,120 cm³.

denne, når så en saltlage med kendt koncentration (lod salt per potte) var blandet, kunne der fyldes op til mærket og mervægten kunne direkte måles med 1/16 ort's nøjagtighed (hans mindste lodder¹¹). Talværdierne er i pæn overensstemmelse med moderne målinger.

Den anden tabel angiver hvor meget ekstravægt, der skal lægges på flydevægten, når den nedsænkes i forskellige saltlager, for at den skal synke til et mærke på den. Tallene er angivet med 0,01 vægtenheds nøjagtighed, og når man tager hensyn til at enheden for overvægten er ca. 0,06 g ($0,01 \times 0,206 \times 29\frac{9}{16}$ g (se senere¹²)) er nøjagtigheden i talangivelserne umulig ved en direkte måling, og en anden forklaring på tabellen må findes.

Vi må altså slutte, at Rømer har målt værdierne i den første tabel, fordi han kunne; den anden tabel er en hjælpetabel der er udregnet, som fører til den sidste tabel, som er den der skal anvendes i praksis.

Efter den første tabel bemærker han, at en saltlages relative massefylde ikke vokser lineært med mængden af salt; der er et par udregninger på grundlag af dette mærkelige forhold samt et forsøg på en forklaring¹³, Rømer forestiller sig at saltet trænger ind i vandets "porer".



Figur 1. Fra Adversaria, der er dog ændret lidt, så det er mere i overensstemmelse med originalen.

sing, bly?, det kan være plumbea betyder forsynet med lukke (plomberet), det ville være hensigtsmæssigt), den bringer den samlede vægt op på $29\frac{9}{16}$ As; de lodder han skal bruge på skålen for at apparatet skal synke i en saltlage har enheden 1/100 af denne vægt. Umiddelbart passer enheden for overvægten ikke med hans almindelige lodder.

Vægten af apparatet er mere forståelig hvis der omregnes til ort (her bruges hans først målte værdi¹⁴, 1 pund = 2425,12 As). Man får at $26\frac{15}{16}$ As = $5\frac{11}{16}$ ort (forskul under 0,01%). Nu tilføjes skålen og den samlede vægt bliver $29\frac{9}{16}$ As = $6\frac{1}{4}$ ort = $\frac{100}{16}$ ort (forskellen er ca. 0,14%); overvægtenheden bliver derved hans mindste lodder på 1/16 ort.



Figur 2. Nyere udgave af samme instrument.

Han opdagede, at apparatet ikke sank nok ned i rent vand, der måtte tilføjes en fast overvægt, således at cirka halvdelen af halsen var dækket, mærket a. Da han havde overvægtlodderne, ændredes de ikke, derimod fandt han den overvægt der skulle til i forhold til ap-

¹¹Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s. 197. Se også Andreas Nissen 1944.

¹²Faktoren 0,206 kommer fra 1 As (Amsterdamcarat), som er lig med 206 mg

¹³Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s. 11.

¹⁴Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s. 197.

paratets vægt; han fandt overvægten til 12,35 enheder. Ved siden af tegningen af flydevægten er en række tal, de kan fortolkes på følgende måde:

En passende overvægt findes til 10" (tommer)¹⁵ af en tråd (kobber?), tråd kan trækkes i meget ensartet og lille diameter; apparatet med skål vejes med samme tråd og den samlede vægt bliver 91" tråd (alle tallene lægges sammen, 2.2. og 1.1. forstås som 2"2 dobb.linier og 1"1 dobb.linie; 1 dobb.linie = 1/6"). Heraf vejer selve maskinen 81" tråd, og hvis 81" skal svare til 100 enheder vil 10" svare til 12,35 enheder. Fortolkningen af tallene er selvfølgelig ikke sikker, men et forsøg; tallene står på en underlig måde, og det er vanskeligt at se at de har anden betydning end at skulle finde overvægten.

Den anden tabel kunne Rømer nu udregne ved hjælp af Arkimedes lov; hvis vi kalder de relative vægte fra tabel et for d , bliver den overvægt der skal lægges på flydevægten:

$$p = 112,35 \times \frac{d - 1000}{1000} \quad (1)$$

heraf fås tabel to, p angives med to decimaler.

Han fandt nu empirisk en sammenhæng mellem p og antal lod salt per pot vand c . Sammenhængen udtrykker Rømer med ord og logaritmer:

$$\log p = \log 1,38 + \left(1 - \frac{1}{20} - \frac{1}{300}\right) \times \log c \quad (2)$$

i dag ville man skrive:

$$p = 1,38 * c^{(1-1/20-1/300)} \quad (3)$$

Nu kunne han ved interpolation eller udregning finde den sidste tabel i afsnittet, hvor der for heltallige værdier af p (1/16 ort) er angivet, hvor mange lod og kvint salt der er per pot vand i den givne lage. Der er ved siden af tabellen noget "hemmelig" skrift¹⁶, det kunne tyde på, at han ville holde konstruktionen af flydevægten hemmelig, det er måske derfor han tidligere angiver vægten i As.

Rømer har altså, efter at have udtænkt og konstrueret flydevægten, målt den relative vægt af en række saltlager i forhold til vand. På det grundlag *udregner* han en tabel, så apparatet kan bruges til *fremtidige* målinger af saltlagers lødighed.

Andre målinger og slutning

Her ender afsnittet om saltlager med beskrivelsen af nogle andre eksperimenter, hvor han bl.a. bemærker, at

med sukkervand kan fortyndes til den halve koncentration og det svarer til den halve overvægt, i modsætning til det han opdagede ved forsøgene med saltvand. Og Rømer slutter:

Herved er det påvist

Hvis en pot salt- eller havvand fortyndes med en pot ferskvand giver det ikke to pottes blanding.

At 1 + 1 ikke altid er 2 har åbenbart forundret ham.

Måling af legeringer

Et eksempel på hvordan Rømer tilrettelagde en vejledning i en teknik, så selv ulærde kunne måle vigtige størrelser, kan læses i noterne¹⁷. Det er en beskrivelse af hvordan man på en enkel måde kan finde sammenhængen af legeringer og andre blandinger.

Teorien bag afsnittet er følgende: Lad der være givet c vægtdele af en blanding, der består af stofferne A og B , i blandingen er a vægtdele af A og $c - a$ vægtdele af B . Når blandingen nedsænkes i vand tabes q_c vægtdele i vægt; c vægtdele af A og B taber henholdsvis q_a og q_b vægtdele i vand. Heraf fås legeringens, A 's og B 's relative massefylde (i forhold til vand), de fører til $a/(c - a) = (q_b - q_c)/(q_c - q_a)$ eller $a/c = (q_b - q_c)/(q_b - q_a)$; hvis A er guld er man interesseret i antal vægtenheder A per 24 vægtenheder af legeringen og der fås: Karatvægten = $24 \times (q_b - q_c)/(q_b - q_a)$.

Der gives et eksempel på anvendelsen: 855 vægtdele guld-kobber legeringen taber 55 vægtdele i vand; $855:19$ (massefylde af guld i forhold til vand) = 45; $855:9$ (massefylde af kobber i forhold til vand) = 95; heraf karatvægt = $24 \times (95-55)/(95-45) = 19\frac{1}{5}$ karat.

For at gøre metoden endnu mere let at anvende, division var på den tid meget vanskelig for almindelige mennesker, opstilles en tabel, her regnes med relative massefylde på 19,16, 10,45 og 8,96 for henholdsvis guld, sølv og kobber; vægtmængden af legeringen er sat til 100000. Udfra en enkel måling af vægttabet i vand, samt en viden om hvilke metaller der indgår, kan karatvægten aflæses; der er også anført en tabel så lødigheden (i sekstendedele) kan aflæses i en sølv-kobber legering. Derpå anføres¹⁸ en stor tabel, den kan bruges hvis blandingsmetallet er en legering af sølv og kobber, dog skal man kende forholdet mellem de to; han nævner hvordan dette kan skønnes udfra farven.

Et helt andet sted i noterne¹⁹ tager Rømer problemet op igen, der angives en grafisk metode til bestemmelsen, så udregningsarbejdet yderligere minimeres. Metoden kan også bruges hvis den ene del af blandingen er lettere end vand; der er eksempler hvor bly er blandet med voks og træ²⁰.

¹⁵ 1 fod = 12" = 144 linier = 314,07 mm

¹⁶ Claus Thykier 1989. Det skal bemærkes at der på dette sted står nogle mærkelige gentagelser. Ved undersøgelsen af originalen viste det sig, at kun den øverste "hemmelige" linie er skrevet med samme pen som resten. De to linier nedenunder minder mest om en afskrift (for sjov, øvelse?), de er skrevet med en skrift der ligner nummereringen af folioarkene. Der står "foreskreven brug".

¹⁷ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.13ff.

¹⁸ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.16.

¹⁹ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.198.

²⁰ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.201.

Referencer:

- [1] M. Alic (1986) "Hypatia's Heritage: A History of Women in Science from Antiquity to the Nineteenth Century", *Women's Press Ltd. (London)*
- [2] <http://www.pepys.info/1668/1668dec.html>
- [3] *Philosophical Transactions*, Juni 1675.
- [4] *Philosophical Transactions*, 1724, bind 33.
- [5] Thyra Eibe og Kirstine Meyer (1910) "Ole Rømers Adversaria". København. Originalen findes på Det kgl. Bibliotek.
- [6] Claus Thykier (red.) (1989) "Ti Rømer Facetter", ISBN 87-983081-1-4, Albertslund.
- [7] Friedrichsen og Tortzen (2000) "Ole Rømer", København.
- [8] Andreas Nissen (1944) "Ole Rømer. Et Mindeskrift", Fr Bagges Kgl. Hofbogtrykkeri, København.



Erling Poulsen er observator ved Rundetårn.

FREJA-dag 12. januar 2004

Tina Christensen, bestyrelsesmedlem, Netværk for Kvinder i Fysik

For fem år siden, under daværende forskningsminister Jytte Hilden, blev der afsat 78 mio. kr. til FREJA (Female Researchers in Joint Action): et specielt forskningsprogram for unge, kvindelige forskere. Formålet med FREJA var at medvirke til at øge antallet af kvindelige forskere, og dermed forbedre udnyttelsen af Danmarks forskerpotentiale. FREJA-projektet skulle opdyrke ny dynamisk forskning på områder med et teknologisk og erhvervsmæssigt sigte, og forskningen gennemføres af forskergrupper ledet af kvindelige forskere. Penge kunne søges til nye forskningsprojekter inden for alle faglige discipliner. Der blev dispenseret således at en kvindelig ansøger kunne foretrækkes i tilfælde af lige kvalifikationer i øvrigt. Der indkom ansøgninger fra 327 forskergrupper, heraf 307 ledet af kvinder. 16 grupper, alle ledet af kvinder, modtog en bevilling.

Nu hvor FREJA-projektets periode udløber har Netværk for Kvinder i Fysik taget initiativ til afholdelse af en temadag om FREJA-projektet for at gøre status og måske puste lidt til debatten om de manglende kvinder i naturvidenskab. Der vil være indlæg fra embedsmænd, politikere og forskere og dagen afsluttes med en paneldebate hvor vi ønsker at diskutere bl.a.:

- Har FREJA-programmet været en succes?
- Er der med dets udløb behov for et nyt tilsvarende program?
- Hvilke forbedringer ville i så fald være relevante?
- Er der kvinder nok i forskning?
- Eksisterer der diskrimination i forskning?

Arrangementet, der er sponsoreret af Dansk Fysisk Selskab og Niels Bohr Institutet, løber af stabelen

mandag d. 12. januar fra kl. 10 til 16 i Alexandersalen på Københavns Universitet, Bispetorvet 1-3.

Tilmeldinger modtages så længe der er ledige pladser af Mia Stampe Lagergaard, e-post: stampe@dsri.dk.

Program

10:00 Registrering og velkomst

10:20 **Jytte Hilden**, tidl. forskningsminister, *Kvinder fejrer FREJA*

10:40 **Anja Boisen**, projektleder, Danmarks Tekniske Universitet, FREJA-modtager, *Fagligt og karrieremæssigt udbytte af FREJA*

11:10 **Nina Smith**, professor, Handelshøjskolen i Århus, FREJA-modtager, *FREJA i økonomisk forskning: Resultater fra forskningscenter CIM*

11:40 Frokost i Munkekælderen

13:00 **Nils O. Andersen**, direktør, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, *Observationer og refleksioner*

13:15 **Leo Bjørnskov**, departementschef, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, *Evaluering og konsekvenser af FREJA*

13:30 **Anne Grete Holmsgaard**, forsknings- og ligestillingsordfører, SF, *Hvordan kan vi bruge erfaringerne fra FREJA i det politiske arbejde?*

13:45 **Vibeke Abel**, afdelingschef, Ligestillingsministeriet, *Hvorfor skal der være både kvinder og mænd i forskningen?*

14:00 Kaffe og kage

14:20 **Ove Poulsen**, adm. direktør, NKT Research & Innovation, *Debatoplæg*

14:45 **Paneldiskussion**

15:50 Afsluttende bemærkninger