

Het zeepvlies analogon voor experimentele spanningsanalyse

Meijers, Pieter; van Woerkom, Paul

Publication date

2017

Document Version

Final published version

Published in

175 jaar TU Delft

Citation (APA)

Meijers, P., & van Woerkom, P. (2017). Het zeepvlies analogon voor experimentele spanningsanalyse. In P. T. L. M. van Woerkom, W. Ankersmit, R. Hagman, H. G. Heijmans, G. J. Olsder, & G. van de Schootbrugge (Eds.), *175 jaar TU Delft: Erfgoed in 33 verhalen* (pp. 178-182). Histechnica.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

175 jaar TU Delft

Erfgoed in 33 verhalen



Het zeepvlies analogon voor experimentele spanningsanalyse

P. Meijers en P.Th.L.M. van Woerkom

De achtergrond

Met de overgang van de Polytechnische School naar de Technische Hoogeschool in 1905 werd ook binnen de destijds *Afdeling der Werktuigbouwkunde en Scheepsbouwkunde* de behoefte en de noodzaak gevoeld om haar onderwijs en onderzoek naar een hoger wetenschappelijk niveau te tillen. Nieuwe hoogleraren werden benoemd, een enkeling zelfs nog buitengewoon jeugdig. In het bijzonder in 1914 de toen nog 26-jarige ir. C.B. Biezeno en in 1918 de toen nog 23-jarige drs. J.M. Burgers. Beide hoogleraren zouden zeer spoedig een wereldwijde faam verwerven: Biezeno op het gebied van de mechanica van de vaste stof en Burgers op het gebied van met name de mechanica van vloeistoffen [1].

Biezeno verwerfde de titel van werktuigbouwkundig ingenieur met lof in 1909. Daarbij was zijn interesse voornamelijk gericht op theoretische en numerieke analyse van de vervorming en de dynamica van constructies. Hij karakteriseerde zijn vakgebied als dat van de 'technische dynamica' [3]. De ontwikkeling van dat gebied heeft hij met energie begeleid en gestimuleerd.

Om de wiskundige modellering en de numeriek verkregen resultaten te kunnen toetsen aan de werkelijkheid was hij ook een groot voorstander van de opbouw van een laboratorium voor toegepaste mechanica, gericht op onderzoek van statische spannings- en vervormingsproblemen. Zijn eerste promovendus en latere collega J.J. Koch was de stuwende kracht achter de opbouw van het Laboratorium voor Toegepaste Mechanica (LTM), steeds in nauwe samenwerking met Biezeno. Theorie, toetsing en industriële toepassing was het motto van het LTM. Niettemin kwam het LTM in het destijds Afdelingsgebouw aan de Nieuwe Laan in de jaren 1920-1930 door een nijpend plaatsgebrek en door grote bezuinigingen van regeringszijde slechts moeizaam op gang. In 1931 kon Biezeno rapporteren dat eindelijk begonnen kon worden met "de aanschaffing van voor het onderwijs nuttige demonstratiemodellen en met het verrichten van eenig experimenteel werk".

Een van de eerste en destijds internationaal belangwekkende instrumenten in gebruik bij het LTM was het zeepvlies analogon, ontworpen door Biezeno en Rademaker [4] en gebouwd door de firma G. de Koning te Arnhem. Het werd in gebruik genomen in 1930 [7].

De analogie

Het zeepvlies analogon werd ontworpen om de schuifspanningsverdeling te bepalen in een gewrongen (getordeerde) prismatische staaf. Men kan hierbij vooral denken aan staven en buizen met diverse gecompliceerde doorsneden, aan aandrijfassen, aan spoorstaven en aan schoepen van turbines.

In 1903 wees Prandtl voor het eerst op de wiskundige relatie tussen enerzijds schuifspanningen in de dwarsdoorsnede van een prismatische staaf en anderzijds de vorm van een zeepvlies dat is opgespannen over een opening met *dezelfde* contour als die van de staaf [6]. In beide gevallen wordt de wiskundige beschrijving gegeven door de algemene Poissonvergelijking. Dit is een partiële differentiaalvergelijking met een zogenaamde excitatieterm. In het geval van de gewrongen prismatische staaf is de excitatieterm een functie van de wringhoek per lengte eenheid en van de glijdingsmodulus van het materiaal (een maat voor de materiaalweerstand). De oplossing van de differentiaalvergelijking beschrijft het schuifspanningsveld in de dwarsdoorsnede van de staaf. In het geval van het zeepvlies is de excitatieterm een functie van de spanning in het vlies en van de overdruk tussen beide zijden van het vlies, en de oplossing van de differentiaalvergelijking beschrijft de uitstulping van het oppervlak van het zeepvlies.

Door een zeepvlies op de juiste wijze op te spannen over een gat met dezelfde vorm als de omtrek van de staaf en van een overdruk te voorzien, kan men uit meting van de hellingshoek van het zeepvliesoppervlak de schuifspanningen in de dwarsdoorsnede van de staaf afleiden. Andere grootheden kunnen eveneens worden bepaald [3, 4, 6].

Het instrument

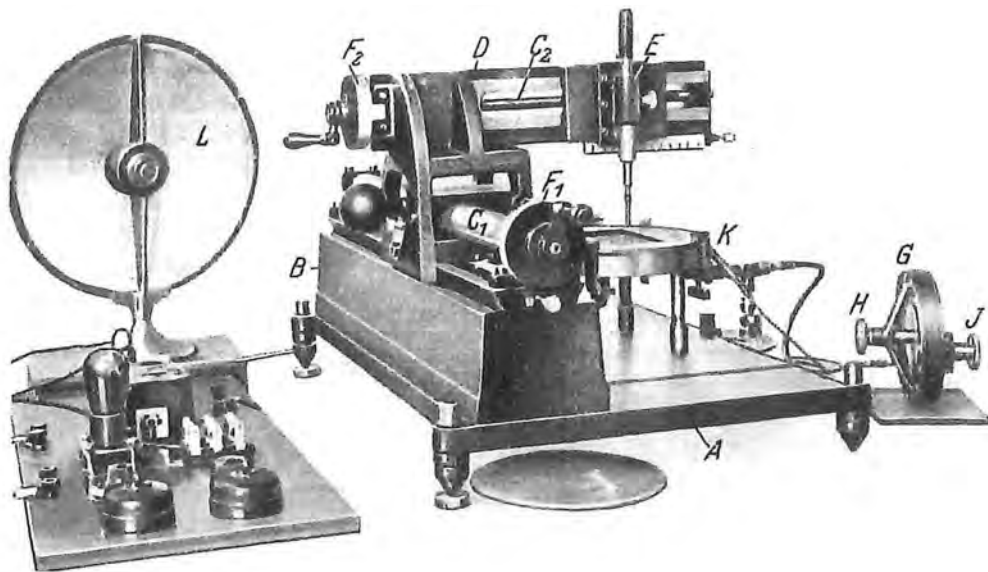
De essentie van het apparaat is [3, 4] dat het de verticale verplaatsing (x -richting) van het door luchtdruk belaste zeepvlies opmeet. Het gaat in principe om een zeer nauwkeurige y - z tafel, waarbij (zie figuur 1) een kruk F_1 de verplaatsing van het opnamepunt in de y -richting beweegt en kruk F_2 de aftaster in de z -richting beweegt. Met de aftaster E wordt dan de uitstulping van het zeepvlies in x -richting bepaald, voor gegeven y - en z -coördinaten. De positie van de aftastnaald kan op 1/100 mm nauwkeurig worden ingesteld en op 1/1000 mm nauwkeurig worden geschat.

Het zeepvliestafeltje onder de aftaster staat op drie poten opgesteld. Over de opening in het tafeltje wordt een zeepvlies getrokken. De luchtdruk in de ruimte onder het zeepvlies wordt met hoge precisie ingesteld door middel van een externe luchtruimte G met indrukbare wanden.

Om te zorgen dat de aftaster het zeepvlies niet kapot prikt wordt een elektrisch signaal naar een luidspreker L gestuurd zodra de aftaster het zeepvlies raakt (figuur 1, links). De analist wordt aldus gewaarschuwd. Niettemin kan het zeepvlies sneuvelen; het opmeten vereist dan ook zeer veel inspanning. Bij breuk van het vlies moet een nieuw vlies worden opgespannen; al met al tijdrovend werk. De groep van Biezeno gebruikte daarom in een later stadium een dun voorgespannen

rubbervlies in plaats van een zeepvlies. Het rubbervlies werd in de deksel van een geheel met water gevulde bak geplaatst. Door de waterdruk in de bak te verminderen zakt het vlies. De ontstane holte werd vervolgens met vloeibaar gips van bovenaf gevuld (gips heeft een met water vergelijkbaar soortelijk gewicht). Na uitharding van het gips kon de analist in eigen tempo de metingen aan het gipsoppervlak uitvoeren. Niettemin vereisten voorbereiding en opmetingen nog steeds veel ervaring en inspanning van de analist.

De nauwkeurigheid van het meetsysteem werd onder meer bepaald door metingen te verrichten aan prismatische staven met doorsneden waarvoor ook analytische oplossingen beschikbaar waren.



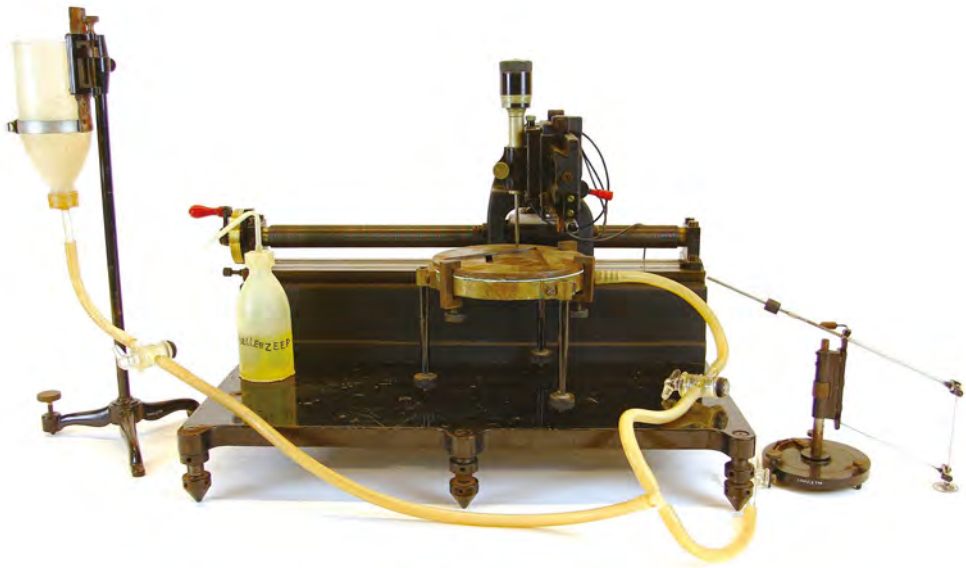
Figuur 1 | Componenten van het zeepvlies analogon. Rechts het zeepvliesinstrument met aftaster E, links de detectie-elektronica met luidspreker L [3].

Informatie uit de metingen

Samenvattend kan men de volgende informatie uit de metingen verkrijgen [3, 4, 6]:

- de schuifspanningscomponenten worden bepaald door de helling van het oppervlak;
- het totale wringmoment is evenredig met de inhoud van de zeepvlies uitstulping;
- door een tweede zeepvlies op te spannen, maar nu met cirkelvormige rand, en belast door de zelfde overdruk, kan men de numerieke waarde van de excitatieterm in de Poissonvergelijking bepalen.

Tenslotte wijzen wij erop dat het zeepvliesanalogon ook kan worden gebruikt voor het bepalen van schuifspanningen in meervoudig samenhangende doorsneden (staven met parallelle holle ruimtes). Echter, heeft men te maken met een profiel met twee of meer holle ruimtes, dan wordt het gebruik van het analogon minder praktisch.



Figuur 2 | Het zeepvlies analogon in de TUD academische erfgoed collectie.

Maatschappelijk belang

Was men vóór de vorming van de Technische Hoogeschool in 1905 niet wars van enig natte-vingerwerk bij het ontwerpen van constructies, met de komst van de wiskundig zeer begaafde Biezeno en met de door hem in gang gezette opbouw van een laboratorium voor experimenteel mechanisch onderzoek kan men waarlijk spreken van het begin van verwetenschappelijking van onderwijs en onderzoek in zijn afdeling (nu 'faculteit'). Het destijds als zeer nauwkeurig ervaren zeepvliesanalogon was een topproduct uit zijn laboratorium.

Het gebruik van de analogie tussen schuifspanningen in een prismatische staaf, en de uitstulping van een zeepvlies, heeft met name in Duitsland – bakermat van veel fundamenteel mechanicaonderzoek - in de jaren dertig tot veel navolging geleid.

Terugblik

Het zeepvlies analogon was een der eerste en bovendien zeer geavanceerde instrumenten in Biezeno's Laboratorium voor Toegepaste Mechanica (LTM). Het LTM werd formeel eerst in 1929 ingericht met als doel onderzoeken over spanningsverdeling in verschillende materialen en in constructies of onderdelen daarvan mogelijk te maken. Het werd in die tijd ondergebracht in het majestueuze gebouw voor Werktuig- en Scheepsbouwkunde aan de Nieuwe Laan en deels in een vertrek van het laboratorium voor Aero- en Hydrodynamica elders in het gebouwencomplex. Het TH gedenkboek 1905 - 1930 [7] geeft een beschrijving van een aantal in die tijd geavanceerde LTM faciliteiten: trekbank,

Mesnager-Coker optisch systeem, Beggs systeem met gebruik van meerdere Zeiss microscopen, het hierboven beschreven zeepvlies analogon, en een variant daarvan. Het LTM werd aangestuurd door Biezeno de theoreticus en Koch de experimentator. De twee vormden een onafscheidelijk en bijzonder productief team.

In het Biezeno Liber Amicorum uit 1953 [5] wordt de stand van zaken binnen het LTM beschreven. In de periode 1929-1944 wordt het laboratorium geleidelijk uitgebreid. Vanwege beperkte fondsen werd eigen apparatuur ontwikkeld. Ook het zeepvliesanalogon werd gebruikt, onder andere voor onderzoek ter ondersteuning van het NLL (Nationaal Luchtvaart Laboratorium, nu NLR, Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium). Een elektrisch analogon vond eveneens toepassing. In de periode 1944-1945 lag het werk stil vanwege gebrek aan elektriciteit en verwarming en vanwege plundering door de bezetter. Vanaf 1945 groeide het LTM snel in omvang en in veelzijdigheid. Het Biezeno Liber Amicorum geeft een beschrijving van de toen meest belangrijke systemen.

In een gedetailleerde beschrijving van de stand van zaken in 1961 [2] memoreren de auteurs eerst de ontwikkeling van het LTM in de periode 1929-1955. Met de verhuizing van de gehele Afdeling der Werktuigbouwkunde en Scheepsbouwkunde naar haar nieuwe onderkomen aan de Mekelweg 2 in 1956 kreeg het LTM een geheel nieuw en vergroot laboratorium ter beschikking. Veel praktijkvraagstukken op sterktegebied in de industrie konden nu energiek ter hand worden genomen. De reeds in 1949 gevormde TNO Werkgroep Spannings- en Trillingsonderzoek onder leiding van Biezeno en Koch werd in 1954 gepromoveerd tot het nieuwe TNO Instituut voor Werktuigkundige Constructies (TNO-IWECO). De naam 'Laboratorium voor Toegepaste Mechanica' werd gewijzigd in 'Laboratorium voor Technische Mechanica' om zo uiting te geven aan de toegenomen aandacht voor dynamica onderzoek in het LTM. De auteurs verklaren dat het LTM "zich kan meten met de beste mechanicalaboratoria in het buitenland en [het] is een voorbeeld van wat met toewijding en inventiviteit in goede menselijke samenwerking in veertig jaren [*de periode 1929 - 1961*] tot stand kan worden gebracht" [2].

Het zeepvlies analogon heeft vele jaren lang een waardevolle rol gespeeld in deze ontwikkeling, en werd in latere jaren een stille getuige daarvan. Het wordt nu gekoesterd in de TUD-erfgoedcollectie.



Figuur 3 | In steen gehouwen plaquette met portret van prof.dr.ir. C.B. Biezeno, wetenschapper op het gebied van de vaste stof mechanica. Met zijn collega prof. J.M. Burgers oogsten zij mondiale faam op het brede gebied van de mechanica.