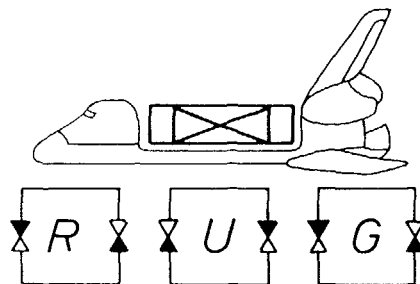


Het ontwerpen van Spacelab-gequalificeerde apparatuur voor het Groninger Marangoni-project

P. Dijkema en dr. J.H. Lichtenbelt*,

resp. instrumentmaker van de Chemische Laboratoria en wetenschappelijk medewerker van het Laboratorium voor Technische Scheikunde van de Rijksuniversiteit Groningen

De D1-Spacelab vlucht ligt alweer een jaar achter ons. Een van de experimenten die daar door Wubbo Ockels werd uitgevoerd, werd bedacht door het laboratorium voor Technische Scheikunde van de Universiteit van Groningen. De gebruikte apparatuur werd voor het grootste gedeelte door de eigen instrumentmakerij ontwikkeld en vervaardigd. Dit alles binnen het raamwerk van een groot eisenpakket voor het functioneren van de apparatuur onder gewichtsloze toestand, zoals in Spacelab.



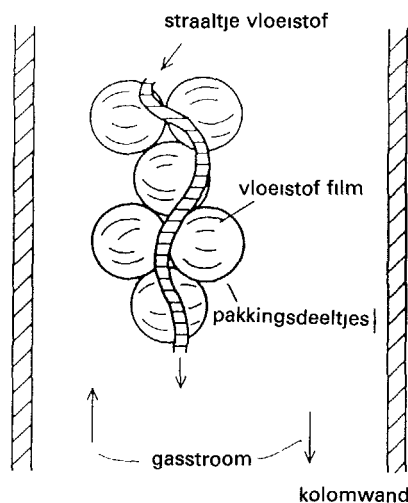
Inleiding

Ongeveer drie jaar voor de lancering werd gestart met het ontwerpen van de apparatuur voor de D1-Spacelab vlucht, die al weer een jaar geleden met succes heeft plaatsgevonden van 30 oktober tot en met 6 november 1985. De lange voorbereiding was nodig om aan de eis te voldoen dat de apparatuur moest werken met een zekerheid van bijna 100%. Veel testen en verbeteren van de apparatuur was dan ook noodzakelijk. Enkele bijzondere punten die we op onze weg naar Spacelab tegenkwamen zullen nader belicht worden. Nuttig is het echter eerst een hoofdstuk te wijden aan de wetenschappelijke achtergronden van dit project.

Stofoverdracht in "gepakte" kolommen

Het Marangoni-project omhelst een onderzoek naar de stofoverdracht in "gepakte" kolommen (packed columns) voor de scheiding van stoffen al of niet door een chemische reactie, zoals veel in de industrie gebruikt wordt [1]. Gepakte kolommen zijn vertikaal geplaatste cilindres met daarin een vloeistof en een gas in mee- of tegenstroom. Het "pakkingsmateriaal" (vulmateriaal) dient om een zo groot mogelijk contactoppervlak tussen de vloeistof en het gas te waarborgen.

De stofoverdracht van een stof, aanwezig in één van beide fasen (b.v. water), naar de andere fase (b.v. lucht), wordt bepaald door dit oppervlak, maar ook door een stofoverdrachtscoëfficiënt, of anders gezegd: door een weerstand tegen stoftransport. Deze weerstand is

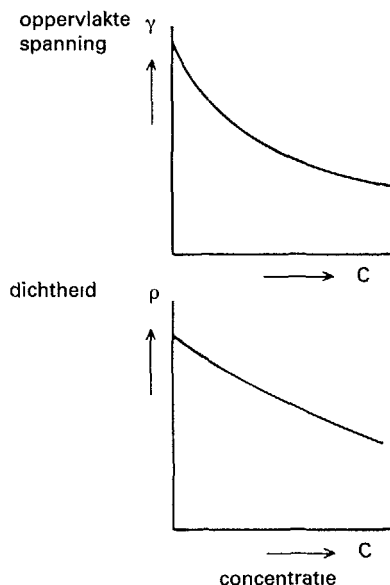


Figuur 1 Stofoverdracht van de vloeistoffase naar de gasfase, of andersom, in een "gepakte" kolom. De "pakkingsdeeltjes" kunnen een katalysator zijn

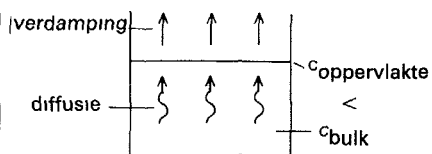
vaak het grootst in de vloeistof en wordt bepaald door de diffusie van de stof in die vloeistof. Dit is meestal een langzaam proces. Elke vorm van convectie zal de stof sneller naar het vloeistof-gas oppervlak brengen en de totale stofoverdrachtssnelheid zal toenemen. Roeren is zo'n vorm van convectie maar slecht toepasbaar en energetisch zeer inefficiënt. De natuur helpt een handje want in bepaalde gevallen treedt spontaan een convectie op.

Hiervoor zijn twee oorzaken:

1. Door de verdamping ontstaan concentratieverschillen en daaraan gekoppeld dichtheidsverschillen; zie figuur 2. Bij een grote dichtheid in hogere lagen zal de vloeistof kunnen gaan stromen. Dit noemen we Rayleigh convectie; deze is afhankelijk van de zwaartekracht; zie figuur 3.



Figuur 2 De oppervlaktenspanningen en de dichtheid als functie van de concentratie, voor een aceton-wateroplossing

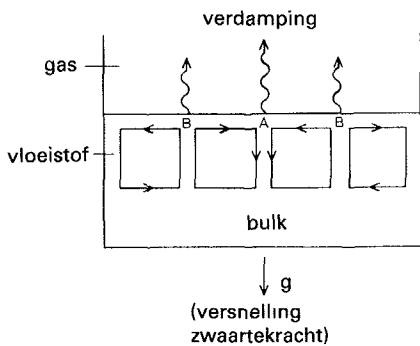


Figuur 3 Een grotere dichtheid aan het vloeistof-gas oppervlak ten gevolge van verdamping kan Rayleigh convectie veroorzaken in de vorm van zogenaamde rolcellen; zie ook figuur 4

2. Door verdampingsinstabiliteiten ontstaan verschillen in oppervlaktenspanning, zie figuur 2, langs het vloeistof-gas oppervlak. Ook hierdoor kan convectie ontstaan, die we Marangoni convectie noemen; deze is onafhankelijk van de zwaartekracht; zie figuur 4.

* Dr J.H. Lichtenbelt is per 1 april 1987 werkzaam bij AeVeBe, afdeling Research en Engineering, te Veendam.

Het stoftransport zal door beide extra convecties versneld worden. De vraag is hoeveel en onder welke omstandigheden. Met deze kennis is het dan weer mogelijk beter en goedkoper gepakte kolommen te ontwerpen.



Figuur 4 Door een (toevallige) sterkere verdamping bij A t o v. B zal een concentratie- en dus een oppervlaktespanningsverschil ontstaan langs het oppervlak. Zo kan Marangoni convectie ontstaan in de vorm van rolcellen

Rayleigh convectie en Marangoni convectie hangen weer van elkaar af en de behoefte bestond beide apart te onderzoeken. De aanzet hiertoe is een onderzoek onder gewichtsloze omstandigheden, zoals b.v. in Spacelab heersen; typische waarde van de zwaartekracht is hier $10^{-3}g$. Onder deze omstandigheden zal alleen Marangoni convectie kunnen plaatsvinden, zonder Rayleigh convectie.

Experimentele opzet

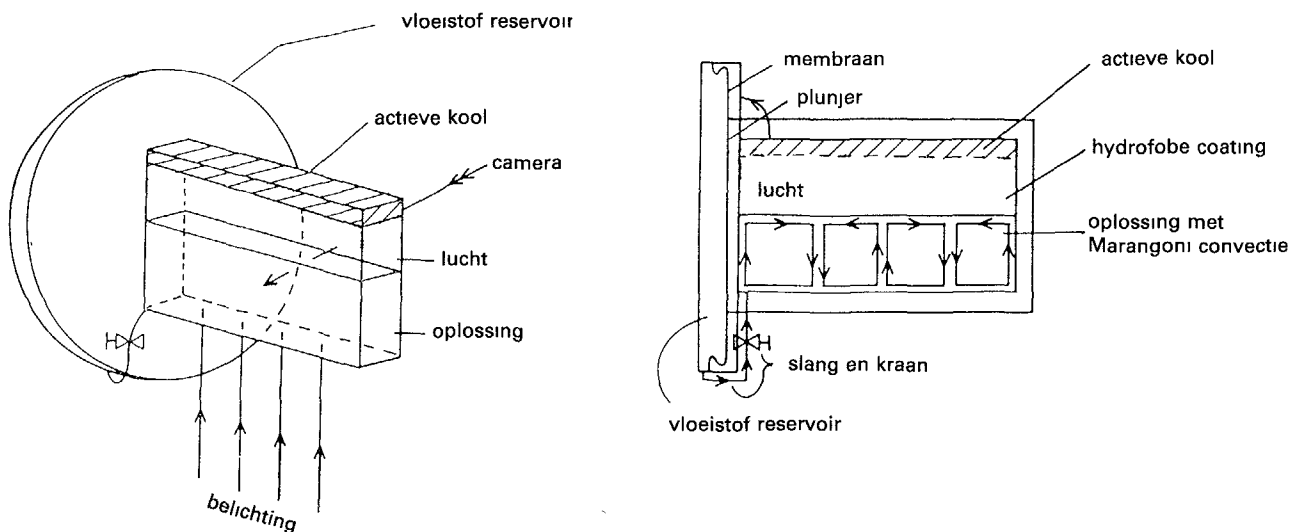
De apparatuur moest ontworpen worden voor een tweedimensionaal modelstelsel van een water-aceton oplossing met een vlak vloeistof-gas grensvlak [1]. De aceton verdampt hieruit en moest, uit veiligheidsoverwegingen,

weer geadsorbeerd worden aan actieve kool. Om de eventueel optredende Marangoni convectie zichtbaar te maken werd van een doorzichtige cuvette (glazen bakje) uitgegaan. Het eerste ontwerp bevatte dan ook een cuvette met devloeistof en daarboven een plunjer om de verdamping tijdens het transport (lancering) tegen te gaan. Vlak voor het begin van het experiment zou deze plunjer weggehaald moeten worden, waarna de kool op een zekere afstand van het vloeistof-gas grensvlak geschoven moest worden. Deze apparatuur moest geheel dicht zijn. Daarvoor waren O-ringen nodig, die absoluut niet gesmeerd mochten worden i.v.m. eventuele vervuiling van de vloeistof. Het te bestuderen fysische proces is namelijk zeer gevoelig voor vervuiling, met name voor oppervlakte-actieve stoffen, zoals b.v. vetten en zeep. Dit bleek niet realiseerbaar, zeker als men bedenkt dat een O-ring na twee maanden staan – dit is ongeveer de kortste tijd voor de lancering dat deze apparatuur in D1-Spacelab aanwezig moet zijn – nauwelijks meer in beweging is te krijgen, zeker niet met de 5 kgf kracht die door een kleine motor ter beschikking is aan boord van Spacelab voor dit experiment. Kort en goed, dit ontwerp werd letterlijk in de kast gezet.

Het alternatief was een rechthoekig cuvette te maken, waarin de kool zich reeds bevond aan de bovenkant en waarin de vloeistof via de bodem geïntroduceerd zou worden. Het nadeel is dat er een verstoring in de vloeistofstroming geïntroduceerd wordt op het moment dat een stilstaande vloeistof wordt verlangd. Dit idee werd verder uitgewerkt, waarbij we dit nadeel voor lief moesten nemen.

De apparatuur zou geplaatst worden in het Fluid Physics Module (FPM). Deze "multi-user" faciliteit van ESA (European Space Agency) en FIAT (bekende fabriek in het zuiden van de EEG) verzorgt o.a. de verlichting van de vloeistof in de cuvette en tevens de registratie van de vloeistofstromingen d.m.v. een film- en videocamera, die directe beelden op aarde geeft. De opname geschiedde in ons geval loodrecht op de verlichting en de stroming wordt zichtbaar gemaakt door reflecterend tracerdeeltjes aanwezig in de oplossing. De tracerdeeltjes bestonden uit micro-balloons of wel holle glazen bolletjes ($\varnothing = 100\mu\text{m}$), die we verzilverd hadden tot dezelfde dichtheid als van de vloeistof voor referentiemetingen op aarde.

De ruimte voor de te ontwikkelen apparatuur was 13×13 cm (lengte \times diameter). Dit bepaalde de lengte van de cuvette op ongeveer 10 cm. De hoogte werd experimenteel bepaald op 5 cm. De vloeistofhoogte bedroeg 60% hiervan. De laag kool, met voldoende capaciteit voor de duur van het experiment, bleek 4 mm dik te moeten zijn. De kool werd vastgelijmd in een teflon filter (poriegrootte $0,2 \mu\text{m}$) – dat daartoe voorzien was van een polyesterlaagje – om kool(poeder) en de vloeistof op hun plaats te houden. De acetondamp ging hier nagenoeg ongehinderd doorheen. De breedte van de cuvette moest aan twee tegenstrijdige eisen voldoen: nl. zo groot mogelijk zijn om demping van de Marangoni convectie te voorkomen door de visceuse krachten van de grote zijwanden, maar aan de andere kant weer zo klein mogelijk om zeker te zijn van een vlak vloeistof-gas oppervlak, ook onder gewichtsloze omstandigheden. Of dit laatste haalbaar zou zijn was



Figuur 5 Schematische weergaven van de gebruikte apparatuur voor de bestudering van de Marangoni convectie onder gewichtsloze omstandigheden. De maten van de kwartscuvette zijn $10 \times 5 \times 1$ cm en van het reservoir $\varnothing = 12$ cm en $l = 1$ cm

een grote vraag. Uit andere experimenten, uitgevoerd onder gewichtloze omstandigheden, bleek dit wel mogelijk door een speciale laag (zie verderop) aan te brengen en door de afstand tussen de wanden niet groter te maken dan 1 cm.

De resterende 3 cm in de lengterichting, die over was in het FPM, werd gebruikt voor een reservoir waarin de vloeistof zich tijdens transport zou bevinden. Toch bleef er maar 4 mm bewegingsruimte over om een membraan te laten bewegen teneinde de vloeistof uit het reservoir, via slangen en een kraan, in de cuvette te laten stromen.

Dit resulteerde in de volgende opzet, zie de figuren 6, 7 en 8: een glascuvette van $10 \times 5 \times 1$ cm met aan het rechter zijvlak het reservoir met een hoogte van ongeveer 1 cm en een maximale diameter van 12 cm. De resterende ruimte was nodig voor andere zaken.

Registratie van fysische omstandigheden

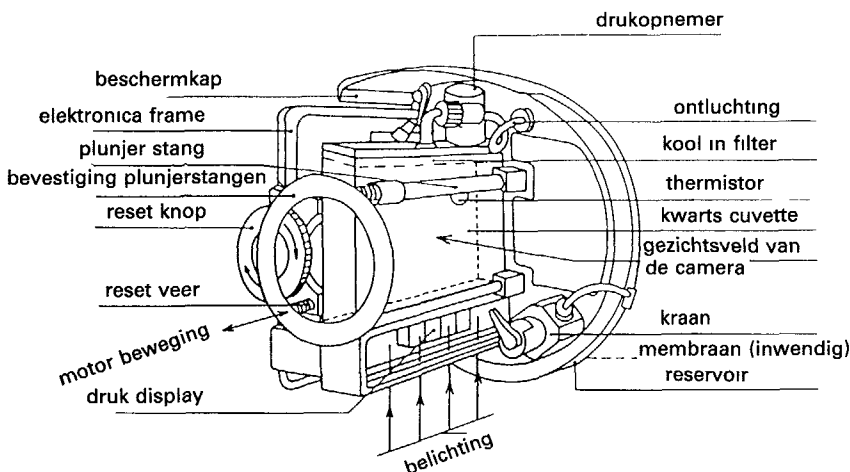
Voor het meten van de druk werd op de cuvette een kleine, doch precieze drukopnemer geplaatst. Achter de cuvette was plaats over voor de bijbehorende elektronica, die gemaakt werd door het

laboratorium voor Ruimteonderzoek van de Rijksuniversiteit te Groningen. De uitlezing geschiedde m.b.v. een LED display. De maximale afleesfout was $\leq 0,6\%$. De temperatuur werd gemeten m.b.v. een drietal thermistors, waarvan de bijbehorende elektronica zich in het FPM bevond. Deze data werden direct naar aarde gezonden.

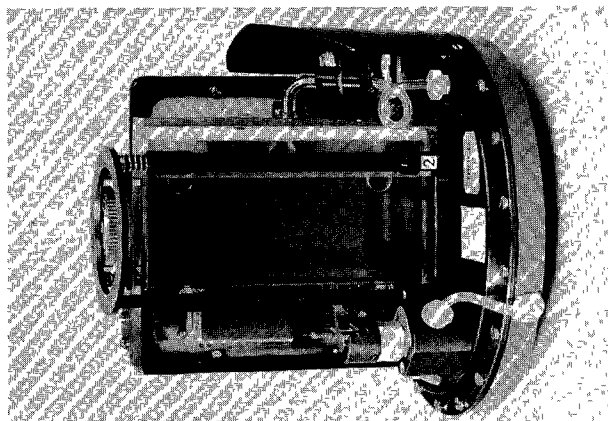
De voeding van de drukopnemer en de bijbehorende elektronica werd geleverd door een 9 Volt alkaline batterij. Deze heeft alleen het nadeel dat bij kortsluiting binnen vier minuten de oppervlaktetemperatuur oploopt tot 150°C en hij dan explodeert. Beide fenomenen zijn niet acceptabel. Daartoe werd de batterij in een behuizing geplaatst en voorzien van een zekering, wat op zich weer het risico met zich meebrengt dat de elektronica in het geheel niet zou werken door het vroegtijdige uitvallen van de zekering.

De kwartscuvette

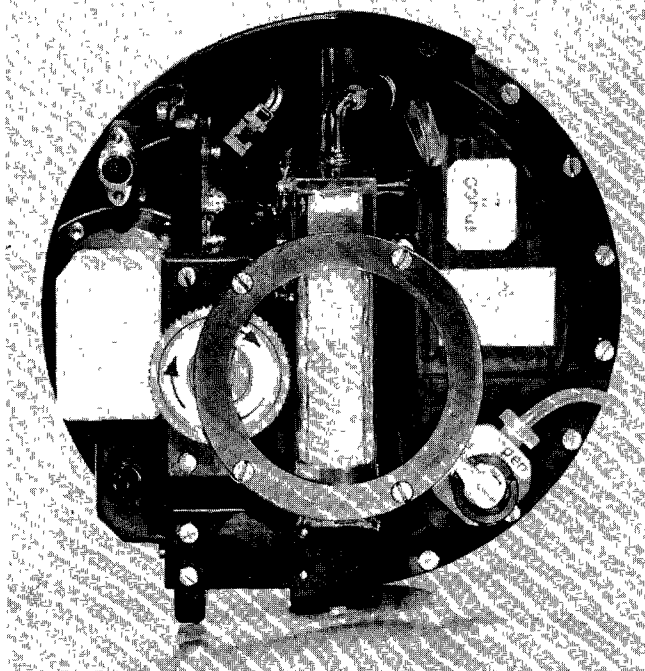
Voor de fabricage van de kwartscuvette werd een beroep gedaan op een gespecialiseerde fabrikant. Dit vlakglaswerk werd goed afgeleverd, maar de fabrikant bleek niet bij machte de bijbehorende ronde aanvoerbuisjes degelijk te maken. Dit werd weer in eigen beheer verwezenlijkt, waarbij het spanningsvrij opleveren van de kwartscuvette een groot probleem was.



Figuur 6 Perspectieftekening van de ontwikkelde apparatuur



Figuur 7 Foto van de zijkant van de apparatuur. De vloeistof wordt aan de onderkant geïntroduceerd en zal de cuvette vullen tot vlak onder de bovenste plunjerstang. Achter deze stang is de hydrofobe coating te zien en erboven de kool in het witte teflon filter. Duidelijk zichtbaar is de glas-FEP slangovergang van de ontluchting. De platte ronde schijf rechts is het vloeistofreservoir met de plunjer aan de binnenkant direct onder de geschroefde deksel.



Figuur 8 Foto van het zij aanzicht van de apparatuur. Door de lichtreflectie is de uitwendige coating van de kwartscuvette, in het midden, waar te nemen. Linksboven is een zevenpolig plug voor de thermistor aansluitingen zichtbaar.

Om een vlak vloeistof-gas grensvlak te waarborgen onder gewichtsloze omstandigheden moest de cuvette aan de binnenkant van een waterafstotende, hydrofobe, laag worden voorzien. Onder deze omstandigheden is er geen verschil meer tussen "onder" en "boven" zodat de vloeistof (water-aceton oplossing) en het gas zich gelijkmatig zullen verdelen over de cuvette. De oplossing zal zich langs het hydrofyle (wateraantrekkende) glas verspreiden en in het midden zal zich een ronde gasbel bevinden. Een hydrofobe laag op het glas zal echter voorkomen dat de vloeistof zich daarover zal uitspreiden. Door nu precies zoveel vloeistof in de cuvette te injecteren dat net de hydrofobe laag wordt bereikt, zal een vlak vloeistof-gas grensvlak ontstaan. Het regelen van de vloeistofhoogte was een van de belangrijkste taken van de astronaut die het experiment zou uitvoeren.

Als hydrofobe laag werd een teflon coating gebruikt. Deze voldeed ook aan de bijkomende eis dat hij enigszins doorzichtig moest zijn. Dit coaten werd uitbesteed.

Het grote probleem was het afdekken van de rest van het glaswerk tijdens de coating procedure. Het afdek materiaal moest tegen een temperatuur van 425°C bestand zijn en geen materiaal achterlaten na verwijdering. Twee niet ideale, beide toegepaste, oplossingen werden gevonden:

- glastape, alhoewel het waarschijnlijk niet voor 100% verwijderbaar was,
- coolheat pasta met als nadeel dat het erg moeilijk strak genoeg was aan te brengen en slecht bestand tegen zandstralen. Dit was nodig voor het opruwen van het glasoppervlak voor een betere hechting van de coating aan het glas.

Het reservoir

Het principe is eenvoudig. Een holle schijf ($\varnothing = 12$ cm, $L = 1$ cm) bevat de vloeistof en is voorzien van membraan en afvoerslang en kraan. Wegens beperkte plaatsruimte was deze schijf zo dun mogelijk uitgevoerd. Toch moest een bepaalde stijfheid gewaarborgd zijn, ook in verband met de drukvastheid (zie verderop).

Het vloeistofreservoir werd afgesloten met behulp van een membraan. Er was slechts ruimte voor een slag van 4 mm van het membraan om alle vloeistof te verplaatsen. Bovendien mocht het materiaal de vloeistof niet vervuilen. Alleen teflon en glas kwamen in aanmerking als materiaal of coating. Daarom werd het reservoir met FEP gecoat en het membraan van FEP gemaakt. FEP is teflon met CF₃-zijgroepen eraan; het is een copolymeer van tetrafluorethyleen

en hexafluorpropyleen. Teflon (= PTFE) is een polymeer van tetrafluorethyleen. De voordelen van teflon t.o.v. teflon zijn dat het niet micro-poreus is en geleverd wordt als film (dikte 125 μ m) met een geëtste zijde.

Proefondervindelijk werd gevonden dat deze geëtste kant heel goed gelijmd kan worden, bijvoorbeeld met watervast Araldit. Ten tweede kan het FEP gevormd worden door het op te warmen tot vlak onder zijn smeltpunt van 250°C. Op deze wijze werd het membraan gevormd in een dikwandige aluminium mal, die in een oven werd geplaatst. Deze procedure werd op ons laboratorium ontwikkeld. Het temperatuurtraject waarbinnen dit goed gebeurt is erg klein en de druk moest ook eerst proefondervindelijk bepaald worden. Te hoog opwarmen vermindert de sterkte (of het materiaal scheurde) en verwijderde de etslaag.

Tenslotte werd het membraan vastgelijmd aan de aluminium plunjier, die met behulp van vier stangen kon worden verplaatst door een externe motor van het FPM. De retourbeweging gebeurde door middel van twee veren en een (reset)schroefknop.

Reservoir en cuvette vormden een gesloten systeem. Dat wil zeggen, de vloeistof werd onderin de cuvette gevoerd en een gelijk volume lucht werd aan de bovenkant van de cuvette weer teruggevoerd naar de andere kant van het membraan in het reservoir. Het totale volume bleef zodoende gelijk, alleen de vloeistof en lucht verwisselden de plaats.

Slangen en de kraan

De eis was, dat de vloeistof alleen met een teflon of glas in aanraking mocht komen. Een commerciële kraan voldeed aan deze eis en de slangen konden van FEP-materiaal gekocht worden.

De vorm in een slang werd aangebracht door er een koperdraad doorheen te doen, de combinatie te verwarmen en in de gewenste vorm te brengen; na afkoelen werd de koperdraad verwijderd. Zo kon elke vorm van spanning achteraf, voorkomen worden. Dit was vooral van belang, daar de slangen verbonden moesten worden aan de glasbuisjes van de cuvette, die weinig belasting konden hebben. Hiertoe werden tevens nieuwe miniatuur knelfittingen ontworpen. In principe sloten die goed af, maar het aandraaien bleef een moeilijke opgave, want bij de minste zijdelingse kracht brak een glasbuisje af.

Materiaalkeuze

De materiaalkeuze was zeer beperkt.

Dit komt vooral door de strenge eisen die aan de materialen in Spacelab werden gesteld [2, 3, 4] en wel om de volgende redenen:

- de materialen moesten ontbrandbaar zijn.
- de materialen mochten geen giftige stoffen uitgassen. Zo was b.v. een veel gebruikt materiaal als messing niet toegestaan, vele lijmen vielen af, vele coatings waren niet toegestaan.
- de gehele apparatuur moest zo licht mogelijk zijn. Hiertoe werd zoveel mogelijk materiaal weggefreest.

De meest gebruikte materialen voor Spacelab-gebruik waren aluminium voor de behuizing en roestvaststalen schroeven van speciale samenstelling.

Een ander probleem was de stevigheid van het geheel. De apparatuur moest voldoen aan de drie volgende eisen:

1. Het moest de trillingen kunnen doorstaan die konden optreden tijdens de start van Spacelab (zie verderop).
2. De apparatuur mocht niet kapotgaan bij een absolute omgevingsdruk van vacuüm tot 1,5 keer de werkdruk. Bij een werkdruk van 1 atmosfeer was het maximale drukverschil dus 1 atmosfeer.
3. Tenslotte moest de gehele apparatuur een temperatuur van 60°C gedurende drie dagen kunnen doorstaan. Dit waren ook de omstandigheden voor de integrale uitgastest.

Deze eisen hadden als consequentie dat de schroeven zodanig vastgezet moesten worden dat ze niet lostrilden. De beschikbare ruimte liet niet toe grotere schroeven te gebruiken dan M2 of M2,5, waarmee de drukken moesten worden opgevangen. De literatuur leverde weinig gegevens op en de praktijk leerde wat het maximale koppel mocht zijn om deze schroeven aan te draaien. Dit deden we door het koppel te bepalen waarbij de schroeven of de schroefgaten kapot gingen. Het gebruikte koppel werd op 50% van het gevonden maximum gesteld. Vooral het aluminium maakte dat er geen grote koppels gebruikt konden worden, nl. 30 N.m voor M2 en 50 N.m voor de M2,5 schroeven. Tenslotte werd bij de uiteindelijke assemblage een borgvloeistof gebruikt.

Het testen

Druktest

De apparatuur moest, zoals reeds gezegd, een maximale verschilddruk van 1 atmosfeer kunnen doorstaan, hetgeen problemen gaf met de kwartscuvette. De gebruikte wanddikte van 2,5 mm kwarts was daar niet tegen bestand;

hiervoor gold dat er slechts 0,25 atmosfeer drukverschil op mocht staan. Dit risico hebben we voor lief genomen. De Spacelab-eis voor het geval dat apparatuur kapot mocht gaan was, dat dit geen verdere gevolgen mocht hebben voor andere apparatuur of voor de astronauten. Hiertoe werd om de gehele cuvette een doorzichtige coating van nylon aangebracht die, met een dikte tot 25 µm, vlamdovend is. Als de cuvette kapot zou gaan dan zouden daardoor ook de splinters bijeen worden gehouden en niet in de ruimte gaan zweven. De eventueel vrijkomende aceton oplossing (2-3%) lag net onder de explosiegrens, onder extreme omstandigheden, en een factor 1000 onder de MAC waarde.

De rest van de apparatuur voldeed aan de drukkeis. Het vloeistofreservoir deformeerde slechts weinig bij 1 atmosfeer drukverschil, waarop met de ruimte tussen de cuvette en het reservoir rekening werd gehouden.

Uitgastest

De apparatuur moest gedurende drie dagen tegen een maximum temperatuur van 60°C kunnen. Dit vereiste voorzorgen vooral betreffende het kwarts, met een te verwaarlozen uitzettingscoëfficiënt, en de aluminiumhouder van de cuvette, met een 50 maal grotere lineaire uitzettingscoëfficiënt. Dit werd opgelost door deze materialen aan elkaar te lijmen met siliconrubber.

Met een gaschromatograaf-massaspectrometer werd door ESA (European Space Agency, in het ESTEC gebouw te Noordwijk) vastgesteld dat de uitgeste componenten toelaatbaar waren.

De trilttest

Dit was een van de belangrijkste testen vooraf. De trilttest werd uitgevoerd bij het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium (NLR) in de Noord-Oostpolder. De opstelling bestaat uit een grote "luidspreker" met een versnellingsmeter in de terugkoppeling. In drie richtingen kan getrild worden.

De eerste test was het bepalen van de eigenfrequentie, die niet lager mocht zijn dan 50 Hz. In ons geval was deze 110 Hz en dan nog maar alleen om het bevestigingspunt van de apparatuur. De tweede test was een sinusoidale trilling met een piekversnelling van 5,4 g voor 15-35 Hz.

Tenslotte een random vibratietest van 2-2000 Hz met een gemiddelde (rms) versnelling van 7,8g gedurende 70 sec. Dit was een spannende test, maar de apparatuur kwam er ongeschonden doorheen. Het bleek dat alle schroeven losser waren komen te zitten, zodat we

voor borging met behulp van een vloeistof kozen.

De trilttest gaf geen problemen, mede omdat er van te voren overleg was geweest met het NLR en vervolgens enkele verbeteringen in het ontwerp waren aangebracht.

Integratie

De ontwikkeling in eigen huis en eigen beheer leerde dat dit de beste oplossing is voor dit soort projecten. De uitstekende samenwerking en snelle terugkoppeling tussen onderzoeker en instrumentmaker maakte dat problemen, ook details, vroegtijdig herkend werden en erop gereageerd kon worden. De zwakke schakel is dan nog de integratie, in dit geval met de FPM, die leerde dat je daarbij altijd aanwezig moet zijn.

Vele trainingen werden uitgevoerd o.a. met astronauten, zowel op aarde als gedurende een tweetal vluchten met een vliegtuig in een zogenaamde parabolische vlucht. Hierin werd gedurende 20 seconden een gewichtloze toestand verkregen. Kritische punten en/of momenten kunnen zo getest worden.

Spacelab

De uiteindelijke vlucht bewees dat al onze voorbereidingen goed waren. Althans dat we alles goed ingeschat hadden. Aan veel andere apparatuur bleek soms een kleinigheid te mankeren. De astronauten bleken meestal wel in staat kleine reparaties uit te voeren, maar dit kostte relatief veel tijd.

De extra tijd die voor ons over bleef werd omgezet in een extra, niet gepland experiment, wat welkomte extra informatie gaf.

Het gehele Spacelab-project heeft het onderzoek een aanzienlijke stap voorwaarts gebracht [5] en een jaar na datum kunnen we zeggen dat we zoveel details over de processen in gepakte kolommen te weten zijn gekomen, dat een praktische voorspellende waarde aan de ontwikkelde theorie gegeven kan worden. Dit is maar al te vaak een uitzondering.

Verantwoording

Merkenamen zijn zoveel mogelijk weggelaten. Dit houdt niet in dat we met het ene merk betere ervaringen hadden dan met andere. Detailinlichtingen zijn mogelijk door contact op te nemen met een van de auteurs of met het hoofd van de instrumentmakerij, de heer R. Hoving. De D1-Spacelab vlucht was een Shuttle vlucht met Spacelab als werkruimte aan boord. De NASA (National Space Agency) verzorgde de Shuttle en vijf bemanningsleden. De Duitsers (BMFT, Bundesministeriums für Forschung und

Technologie) betaalden het grootste deel van de vlucht en hadden ook twee astronauten meegezonden (Furrer en Messerschmid). De ESA (European Space Agency) nam ook deel aan deze vlucht, o.a. in de vorm van apparatuur, waar wij dankbaar gebruik van hebben gemaakt. De ESA had Wubbo Ockels afgevaardigd als Payload Specialist in deze vlucht. Hij voerde onze experimenten uit met veel intuïtie en met goed succes. DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt) en ESA gaven ons de mogelijkheid tot trainen met de astronauten. ESA verzorgde ook tweemaal de trainingen in de parabolische vliegtuigvluchten. En DFVLR en BMFT verzorgden ook het grondstation (GSOC, German Space Operation Centre) te Oberpfaffenhofen (München).

Kortsamengevat: door een goede internationale samenwerking werd veel bereikt! De Nederlandse bijdragen werden geleverd door deelname aan de ESA en voor ons experiment door de grote bijdrage van het NIVR (Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart) in de vorm van begeleiding door Ir.D. de Hoop en in financiële vorm.

De SRON (Space Research Organization Netherlands) nam de wetenschappelijke projecten over in 1986 en financiert nu een vervolgonderzoek in de vorm van een raketvlucht, waarbij gedurende zeven minuten gewichtloosheid verkregen wordt. De vlucht staat gepland voor februari 1987.

Literatuur

- [1] Marangoni convection and mass transfer from the liquid to the gas phase, FPM-D1 MACO Engineering model report, 2nd ed. may 1984. A.A.H. Drinkenburg, J.H. Lichtenbelt, H.A. Dijkstra, P. Dijkema.
- [2] List of non-metallic materials suitable for use in the construction of experiments for Spacelab, issue 2., EWP 1272, ESA/ESTEC, Noordwijk (ZH), may 1981.
- [3] Spacelab Usermanual, ESA DP/ST(79)3 july 1979.
- [4] Spacelab databook, ESA BR-14, sept. 1983.
- [5] Marangoni convection and mass transfer from the liquid to the gas phase under microgravity conditions. J.H. Lichtenbelt, A.A.H. Drinkenburg, H.A. Dijkstra, Naturwissenschaften 73, 356-359 (1986).