

## **SloshSat-FLEVO: vloeistof experiment met Nederlandse mini-satelliet**

2010-03-10 / Arno Landewers

Wanneer een satelliet een gedeeltelijk gevulde tank met vloeistof (in het algemeen brandstof) aan boord heeft, kunnen problemen ontstaan door onvoorspelbare reacties van de vloeistof op manoeuvres (standverandering, baancorrecties) door de satelliet. Een bekend voorbeeld is het onderbreken van een baancorrectie van de NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous) satelliet door bewegingen van de vloeibare brandstof. Hierdoor werd een rendez-vous met de Eros asteroïde misgelopen (een volgende poging lukte gelukkig wel, de missie liep al met al wel 13 maanden vertraging op). Een gerelateerd probleem is de verdeling van brandstof in een gedeeltelijk gevulde tank in gewichtloze toestand. In het algemeen vereisen de raketmotoren die zorgen voor baancorrecties en standveranderingen een constante toevoer van brandstof. Ook kan gasvorming ontstaan, waardoor de motoren kunnen uitvallen.

De beschreven effecten zorgen al sinds de begintijd van de ruimtevaart voor problemen, en zijn sinds jaar en dag onderwerp van studie. Het Nationaal Luchtvaart-en Ruimtevaart Laboratorium NLR begon rond 1975 aan eerste studies rond deze onderwerpen, waarvoor ondermeer paraboolvluchten met NLR laboratoriumvliegtuigen, experimenten aan boord van het Spacelab ruimtestation (die helaas mislukten door hardware problemen) en proeven aan boord van een sondeerraket werden uitgevoerd. Eind jaren 80 waren inmiddels diverse geavanceerde rekenmodellen ontwikkeld om de beweging van vloeistoffen in een satelliet te voorspellen. Verificatie met metingen was de enige manier om de modellen te controleren en verder te verbeteren.

Om afhankelijkheid van andere projecten te omzeilen, besloot het NLR een eigen experimentele satelliet te bouwen, het voorstel hiervoor werd in 1989 afgerond. Deze satelliet, welke SloshSat FLEVO (officieel staand voor Facility for Liquid Experimentation and Verification in Orbit, maar uiteraard bedacht om de Nederlandse herkomst van het experiment te benadrukken) werd gedoopt, werd onder financiering van ESA en het NIVR (Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart) door het NLR als hoofdaannemer gebouwd. Onderaannemers waren Fokker Space (draagconstructie en aandrijving), Verhaert Space (België, apparatuur voor grond ondersteuning), Rafael (Israël, besturingssysteem) en Kvant (Rusland, zonnepanelen). Bij de analyse van de meetresultaten en modelontwikkeling waren naast het NLR de Rijksuniversiteit Groningen (RuG), de Technische Universiteit Delft en NASA betrokken.

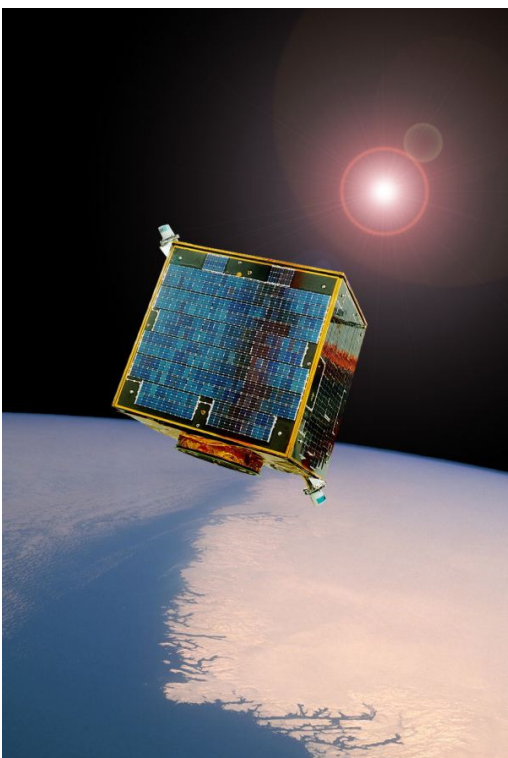
SloshSat bestond in essentie uit een watertank van 87 liter, welke gevuld was met 33,5 liter water. Voor het voorspellen van satelliet bewegingen waarbij klotsende vloeistof een rol speelt, is het essentieel om de zwaartepuntsligging van het vloeistofvolume op alle momenten te weten. Daarom bevatte de uit composietmateriaal opgebouwde tank een aantal ringen van platina welke in de tankwand waren aangebracht. Met behulp van deze ringen was het mogelijk om op 270 locaties de elektrische capaciteit te meten, waaruit met een nauwkeurigheid van 3 cm de dikte van de vloeistoflaag ter plaatse van de meetlocaties is af te leiden. Door middel van thermische metingen op 10 locaties op de tank werden stroomsnelheden gemeten. Om SloshSat te laten manoeuvreren waren 12 kleine voortstuwers aangebracht, die een maximale kracht van 0.785 Newton konden leveren. De voortstuwers werkten op stikstof. De bewegingen van de satelliet werden door 3 gyroscopen en 6 versnellingsmeters gedetecteerd. De satelliet woog 129 kg, en was een kubus met zijde 90 cm. Vrijwel het gehele oppervlak was bedekt met zonnepanelen, welke ondermeer de boordcomputer voedde.

Het was aanvankelijk de bedoeling SloshSat te lanceren vanuit het vrachtruim van een Space Shuttle, maar dit werd een aantal keren uitgesteld. SloshSat was in 1998 gereed gekomen, en lag inmiddels opslagen bij de NLR vestiging Noordoostpolder bij Marknesse. Pas op 12 februari 2005

kon SlosSat daadwerkelijk worden gelanceerd. Niet in een Space Shuttle, maar meeliftend met een Ariane 5 raket. De satelliet werd in een zogenaamde Geostationary Transfer Orbit gebracht. In een periode van 8 dagen werden gedurende ruim 57 uur experimenten uitgevoerd, hierna was de stikstof voorraad van de voortstuwers opgebruikt. De uitgevoerde experimenten waren door het NLR, de RuG, ESA en NASA ontwikkeld. De satelliet werd bestuurd vanuit het grondstation Diane in Kourou (Frans Guyana), terwijl ook een grondstation in Perth, Australië werd ingezet.

Al tijdens het eerste grondcontact bleken de ontvangen gegevens van SlosSat geen data over de vloeistofverdeling in de tank te bevatten. Vermoed wordt dat lekkage kortsluiting heeft veroorzaakt. Gelukkig bleken de gegevens van de bewegingsdetectoren van hoge kwaliteit. Uit de eerste analyses bleek dat de ontwikkelde rekenmodellen in veel gevallen de bewegingen en reacties van de vloeistof zeer goed simuleerden, hoewel bleek dat in bepaalde gevallen met teveel demping rekening was gehouden. De modellen zijn uiteraard wat dit betreft aangepast. Het ontbreken van de gegevens over de vloeistofverdeling bleek dus geen reden voor mislukken van de missie. Een andere, minder ernstige storing bleek een lekkage van stikstof, waardoor de voorraad 6 dagen eerder uitgeput raakte dan de bedoeling was. Het uit het lek stromende gas zorgde voor een onbedoelde, permanent werkende kleine kracht op de satelliet, waardoor de bewegingen werden beïnvloed. Tijdens een passage vlak na het definitief stoppen van de voortstuwers (nadat het gas was opgebruikt en er dus geen gas meer uit het lek stroomde) konden de bewegingssensoren nogmaals worden uitgelezen en met deze gegevens bleek het mogelijk de effecten van het lek te meten.

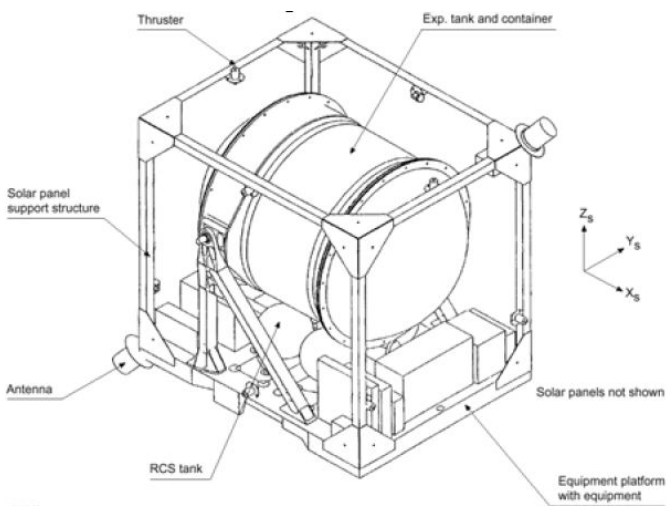
De SlosSat missie mislukte dus gedeeltelijk door technische problemen, waardoor gegevens over de verdeling van de vloeistof in de tank niet konden worden gemeten. Gelukkig bleek uit de ontvangen meetresultaten van de bewegingsdetectoren dat de ontwikkelde rekenmodellen van hoge kwaliteit zijn, en dat deze de effecten van de in gewichtloosheid bewegende vloeistof zeer nauwkeurig kunnen voorspellen (het gesimuleerde gedrag van de vloeistof in gewichtloze toestand kwam dus nauwkeurig overeen met de werkelijke situatie). De rekenmodellen konden aan de hand van de SlosSat missie worden verbeterd door toevoeging van betere data rond de invloed van demping. Mede dankzij SlosSat worden satelliet gebruikers inmiddels nauwelijks meer verrast door de effecten van aan boord klotsende vloeistoffen.



Artist impression van SlosSat-FLEVO (afbeelding: NLR).



Het aanbrengen van detectoren op de watertank bij het NLR. Helaas bleek, éénmaal in een baan om de aarde, dat de detectoren niet werkten, vermoedelijk wegens lekkage van de tank (foto: NLR).



Inwendige opbouw van SloshSAT-FLEVO (afbeelding: NLR).

#### Bronnen:

- Sloshing SloshSat FLEVO: Numerical Simulation of Coupled Solid-Liquid Dynamics in Micro-Gravity, J.A. Helder, Master's Thesis, Rijksuniversiteit Groningen, september 2005
- SloshSat Flevo, facility for liquid experimentation and verification in orbit; description of the mini satellite, J.J.M. Prins, NLR rapport NLR-TP-2000-630
- Measured states of SloshSat FLEVO, J.P.B. Vreeburg, NLR rapport NLR-TP-2005-518