 ISSN 0254-3486 = *SA Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* **21,** no. 3 2002

SUNSAT: Suid-Afrika se eerste satelliet in die ruimte

A. Schoonwinkel, G. W. Milne, J. J. du Plessis en S. Mostert
Departement Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese, Universiteit van Stellenbosch
schoonwi@sun.ac.za

UITTREKSEL

Die SUNSAT-satelliet is as navorsing- en ontwikkelingsprogram aan die Universiteit van Stellenbosch bedryf van 1992 tot 2001. Dit het nuwe tegnologie vir Suid-Afrika verwerf en internasionaal 'n nuwe werkverrigtingsvlak ten opsigte van mikrosatelliete se beeldwaarnemingsvermoëns daargestel. SUNSAT het ook internasionale amateurradiokommunikasie en ruimtewetenskaplike eksperimente ondersteun. Tydens die ontwikkelingsfase het meer as 100 nagraadse studente hul tesisonderwerpe op SUNSAT geskoei, en 'n gepaardgaande wetenskapbewusmakingsprogram het meer as 50 000 skoliere bereik. Hierdie artikel gee 'n oorsig oor die samestelling van die satelliet en sluit af met 'n toekomsvisie vir satelliettegnologie in Suid-Afrika.

ABSTRACT

SUNSAT: South Africa's first satellite in space

The SUNSAT satellite was conducted as a research and development programme at Stellenbosch University from 1992 till 2001. It obtained new technology for South Africa and set new performance levels internationally with regard to micro-satellites. SUNSAT also supported amateur radio communications internationally, as well as space physics experiments. During the development phase more than 100 postgraduate students based their theses on SUNSAT, and a supplementary science awareness programme reached more than 50 000 learners. This article provides an overview of the satellite configuration and concludes with a vision for satellite technology in South Africa.

1. INLEIDING

Ruimteprogramme het in die vorige dekade aan vele lande die uitdagings gebied vir hoëvlak navorsing en die tegnologiese inspuiting verskaf vir nywerheidsgroei. Die Universiteit van Surrey in Engeland het reeds in die laat sewentigerjare getoon dat mikrosatellietontwikkeling 'n bekostigbare toegang tot die ruimte bied. Meer as 10 ontwikkelende lande het sedertdien deur middel van tegnologie-oordragprogramme by Surrey Universiteit geleer hoe om hul eie satellietvermoëns te vestig.

Suid-Afrika beskik eweneens nie oor die bronne vir ambisieuse ruimteprogramme nie, maar het baie waarde ontsluit met die SUNSAT-mikrosatellietontwikkelingsprogram. Deur die volledige roete van wetenskaplike navorsing, ingenieurs-ontwikkeling, lansering, bedryf van 'n satelliet en die benutting van sy data en funksies te volg, is veel bereik: uitstekende menslikehulpbronontwikkeling, tegnologievestiging en stimulering van sakegeleenthede in die hoëtegnologiesektor.

Hierdie artikel verskaf agtergrondinligting oor die SUNSAT-program, besonderhede omtrent die satelliet se substelsels en 'n opsomming van die werkverrigting van die satellietstelsel. 'n Evaluasie van die bydraes van die SUNSAT-program word verskaf en ten slotte word 'n voortuitskouing gegee van die rol wat klein satelliete internasionaal kan speel.

2. AGTERGROND VAN SATELLIETONT-WIKKELING IN SUID-AFRIKA

In Suid-Afrika word satelliettegnologie reeds vir meer as drie dekades vir toepassings soos weervoorspelling, internasionale telekommunikasieskakels, televisieseinverspreiding, dataherleiding en 'n verskeidenheid toepassings van satellietbeelde aangewend. Aanvanklik het plaaslike tegnologie-ontwikkeling grootliks gespruit uit geleenthede om die data en funksies van satelliete wat aan internasionale konsortia behoort, toe te pas vir Suid-Afrikaanse gebruikers.

Groensat-minisatelliet

Rondom die begin van die 1990's is die Groensat-satelliet-program met staatsbefondsing geloods. Dit het die ontwikkeling van 'n volledige minisatelliet (ongeveer 350 kg in massa), met ondersteunende grondstasie en dataverwerkingstelsels behels. Groensat sou beelde lewer met resolusievermoëns (skerpheid van die beelde) en spektraalinhoud (frekwensie in die sigbare ligspektrum) wat besonder geskik is vir kartografiese-, omgewingsbewarings- en sekuriteitstoepassings. Die satelliet-program is grootliks by Houwteq (naby Grabouw) uitgevoer, met wye subkontraktering na die Suid-Afrikaanse industrie en ander navorsingsinstansies. Die Fakulteit Ingenieurswese aan die Universiteit van Stellenbosch het onder meer groot gedeeltes van Groensat se beheerstelselsontwikkeling en simulasies uitgevoer.

Die Groensatprogram is ongelukkig in 1994 gestaak weens 'n tekort aan befondsing en die toetrede-weerstand wat die produk op internasionale markte ondervind het.

SUNSAT herkoms

Die outeurs van hierdie artikel het reeds in 1991 'n parallelle satellietontwikkelingsprogram, SUNSAT, tot stand gebring. SUNSAT is 'n afkorting vir Stellenbosch Universiteit Satelliet. Dit het die ontwikkeling van 'n mikrosatelliet (massa van ongeveer 64 kg) in die vooruitsig gestel, met die volgende doelstellings:

- Opleiding van kundiges in multidissiplinêre aspekte van satelliettegnologie, deur middel van 'n nagraadse ingenieurs-weseprogram aan die Universiteit van Stellenbosch.
- Stimulering van beduidende interaksie met vooraanstaande internasionale navorsers.
- Inspirering van groot getalle Suid-Afrikaanse leerders se belangstelling in wetenskap, wiskunde en tegnologie deur middel van 'n verbeeldingryke plaaslike satellietprogram.

Die loods van 'n program van hierdie omvang aan 'n universiteit was 'n groot bestuursuitdaging, aangesien daar op daardie stadium geen groot borge vir die program was nie. Nuwe satellietprogramme word tradisioneel deur regeringsbefondsing ondersteun, maar tydens die era van SUNSAT se ontwikkeling (1992 tot 1999) het Suid-Afrika deur dramatiese politieke veranderinge gegaan. Dit het onder meer gelei tot die heraanwending van 'n groot deel van die staat se fondse vir basiese diensteverskaffing en sosiale programme.

Die tegnologiese uitdaging, naamlik om die beste kamera (hoogste moontlike resolusie) op 'n klein mikrosatelliet daar te stel, was ook beduidend. Boonop moes die program uitgevoer word met ingenieurs in opleiding en die minimum tegniese steunpersoneel. Danksy die kwaliteit van die studente-opleidingsprogram, het SUNSAT deurentyd die ondersteuning van die Suid-Afrikaanse nywerheid geniet, met bekende instansies soos Altech-Alcatel, ECS, Eerste Nasionale Bank (Tegnologie Divisie), Grintek, Houwteq, Irdeto, MTN, Orbicom, Plessey, Reumech, S.A. Radioliga, S.A. AMSAT, Siemens, Somchem, Telkom en Vodacom, wat beurse, navorsingsfondse, komponente of fasiliteite beskikbaar gestel het. Die NNS (Nasionale Navorsingstigting) en die Universiteit van Stellenbosch self het ook navorsingfondse bygedra om die poging moontlik te maak.

Alhoewel net 'n klein persentasie van die afgestudeerde SUNSAT-studente tans in die satellietbedryf as sulks werksaam is, is die kundigheid in die onderliggende vakgebiede wat bemeester is (bv. rekenaarstelsels, progammatuurstelsels, telekommunikasie, elektro-optika, beheerstelsels, meganika, ens.) van groot waarde vir werkgewers in die breë Suid-Afrikaanse nywerheid.

3. SUNSAT-ONTWIKKELING VOOR LANSERING

Die SUNSAT-ontwikkeling het verskeie stelselingenieursfases deurloop, naamlik spesifikasie, navorsing, prototipe-ontwikkeling, die bou van ingenieursmodelle, kwalifikasie-toetsing en uiteindelik die bou van die vlugmodel. Al hierdie prosesse is uiteraard afgestem op dit wat haalbaar was binne die studente-opleidingsprogram en die begroting.

Stelselspesifikasies

Die redenasie om die spesifikasies van SUNSAT daar te stel het soos volg verloop:

- SUNSAT moes 'n mikrosatelliet (ongeveer 50kg) wees omdat saamry-lanseergeleenthede (as sekondêre loonvragte op lanseertuie) geredelik beskikbaar is en omdat 'n klein satellietprojek as geheel binne 'n universiteit se navorsings-program bedryf kon word.
- 'n Sogenaamde lae polêre wentelbaan (ongeveer 800 km bo die aarde) sou gesog wees as gevolg van die groot verskeidenheid navorsingstoepassings wat dit bied en die relatiewe eenvoud van die satellietontwerp wat dit meebring.
- Lae wentelbaansatelliete is by uitnemendheid geskik vir beeldwaarneming vanuit die ruimte. Gevolglik is besluit om die beste moontlike kamera, wat met Suid-Afrikaanse vermoëns ontwikkel kon word, op SUNSAT te plaas.
- 'n Telefototipe kamera soos hierbo benodig, vereis ook 'n goeie rigakkuraatheid. Daarvolgens is besluit om die tegnologiese uitdaging van 'n akkurate oriëntasiebeheer-stelsel op die mikrosatelliet aan te pak.
- 'n Groot gemeenskap van radio-amateurs is wêreldwyd gretig om van satellietkommunikasiedienste gebruik te maak. Verskeie kanale in die amateurfrekwensiebande is gevolglik vir SUNSAT gespesifiseer. Van die kanale kon ook gebruik word om die satelliet se telebevele op te stuur en statusdata by die grondstasies te ontvang.

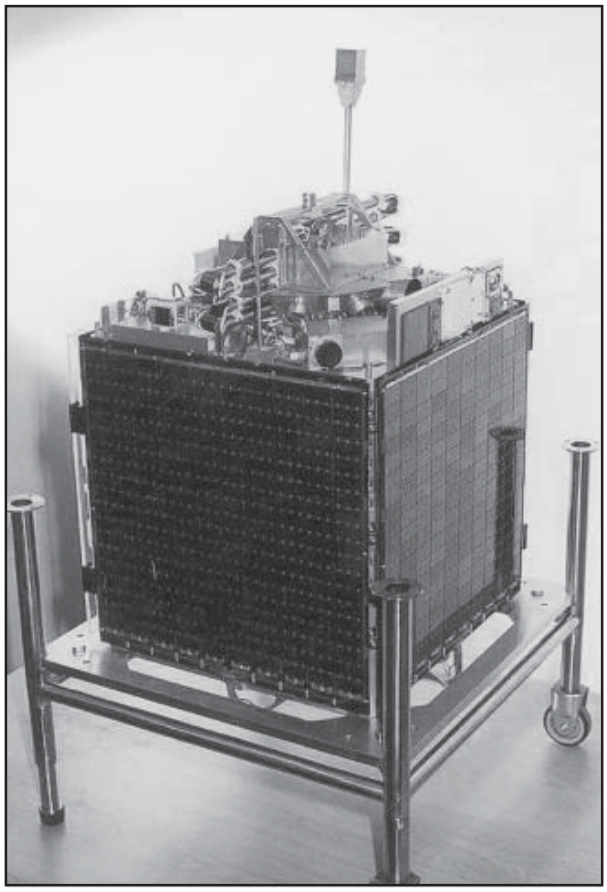
Die satellietontwerp het gevolglik uit verskeie substelsels bestaan, wat kortliks hieronder bespreek word. 'n Foto van die finale satelliet, gemonteer op 'n hanteringsraam net voor lansering, word in figuur 1 getoon. 'n Groot verskeidenheid instrumentasie is boop die satelliet sigbaar, maar die interne substelsels is in hierdie foto verberg deur die sonpanele aan die kante.

Substelselbeskrywing

In 1991, toe die SUNSAT-spesifikasies ontwikkel is, het die Franse SPOT-2-satelliet op 'n kommersiële basis satellietfoto's met 20 meter resolusie verskaf. Dit impliseer dat elke "kleurkolletjie" van die beeld 'n 20 meter by 20 meter oppervlakte op die grond beslaan. SPOT-2 en soortgelyke satelliete weeg meer as 2 ton en die uitdaging was om 'n mikrosatelliet te bou wat vir ten minste sekere van die populêre kleurbande, foto's van verbeterde resolusie kan lewer.

SUNSAT se kamera is gevolglik ontwerp om 15 meter resolusie foto's in driekleure te neem. Die Opto-meganikagroep van die WNNR in Pretoria moes die teleskoop van die kamera ontwikkel, wat 'n voorste lensdeursnit van 10 cm en 'n fokale lengte van 57 cm gehad het. Hierdie lang optiese buis is diagonaal in die onderste rak van die satelliet monteer, soos in figuur 2 gesien kan word.

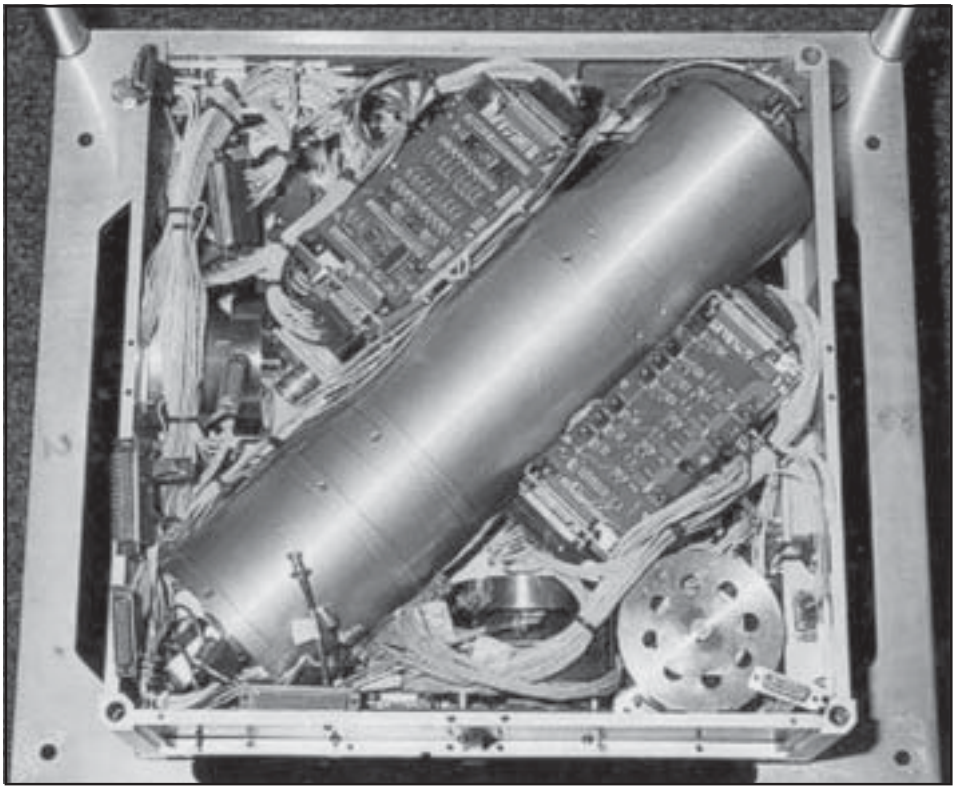
Die optika het ook 'n prismatiese blok in die fokale vlak, waarmee die lig in driebundels verdeel is voordat dit deur spesiale banddeurlaatfilters gestuur is. Hierdie filters het dit moontlik gemaak om 'n toneel op die aarde gelyktydig in driekleurbande te skandeer, naamlik groen (golflengte 520 tot 620 nanometer), rooi (620 tot 690 nanometer) en naby-infrarooi (730 tot 900



Figuur 1: *SUNSAT-vlugmodel net voor lansering*

nanometer). Die totale massa van hierdie kamera was skaars 4 kg en die kragverbruik minder as 5 watt, wat dit uiters geskik gemaak het vir aanwending op 'n klein mikrosatelliet.

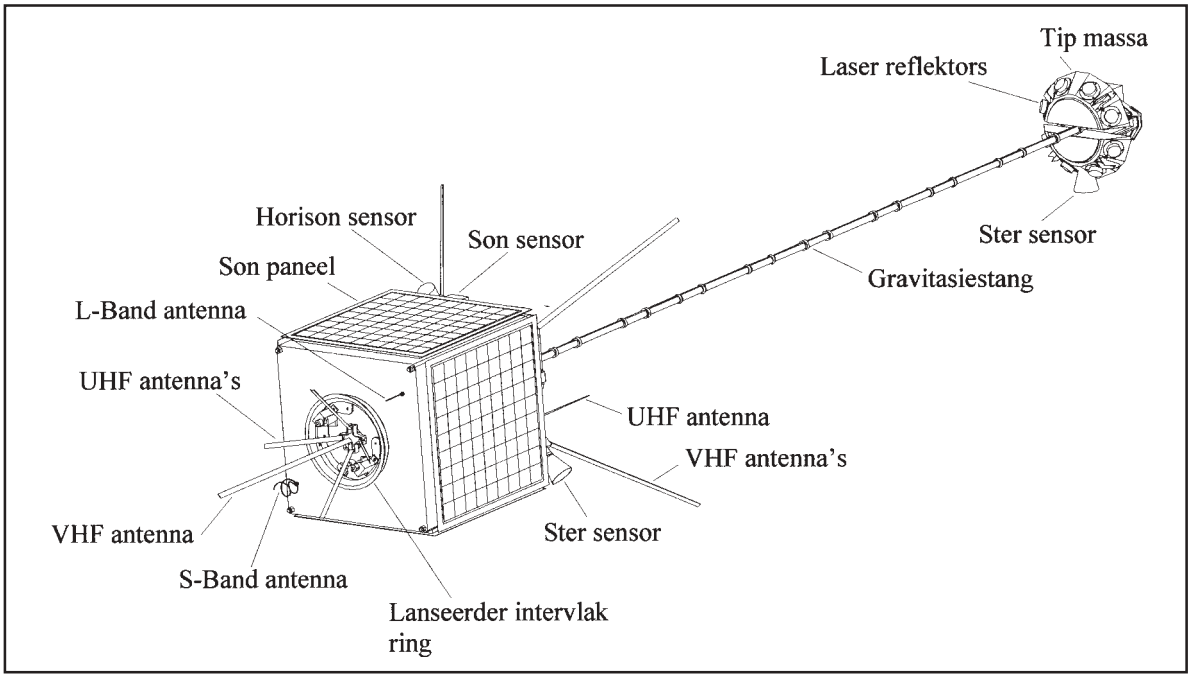
Die beeldinligting kan aan boord van die satelliet gestoor word in 'n massageheue van 64 megagreep grootte. Satellietfoto's van enige plek in die wêreld kan dus afgeneem word en by die grondstasie in Stellenbosch "afgelaai" word tydens die oorhoofse verbyvlugte van SUNSAT. Die grondstasie beskik oor 'n 4,5 meter deursnit paraboliese skottelantenne op die dak van die Elektriese en Elektroniese Ingenieurswesegebou. 'n Hoëspoed dataskakel in S-band is op die satelliet voorsien om beelddata ook intyds teen 'n tempo van 40 megabisse per sekonde na die grondstasie te herlei. As rugsteun vir die kommunikasieskakel, is dit ook moontlik om die beeldinligting sektor vir sektor vanuit die aanboordgeheue via VHF- en UHF-frekwensies na enige amateurradiogrondstasie in die wêreld te herlei.



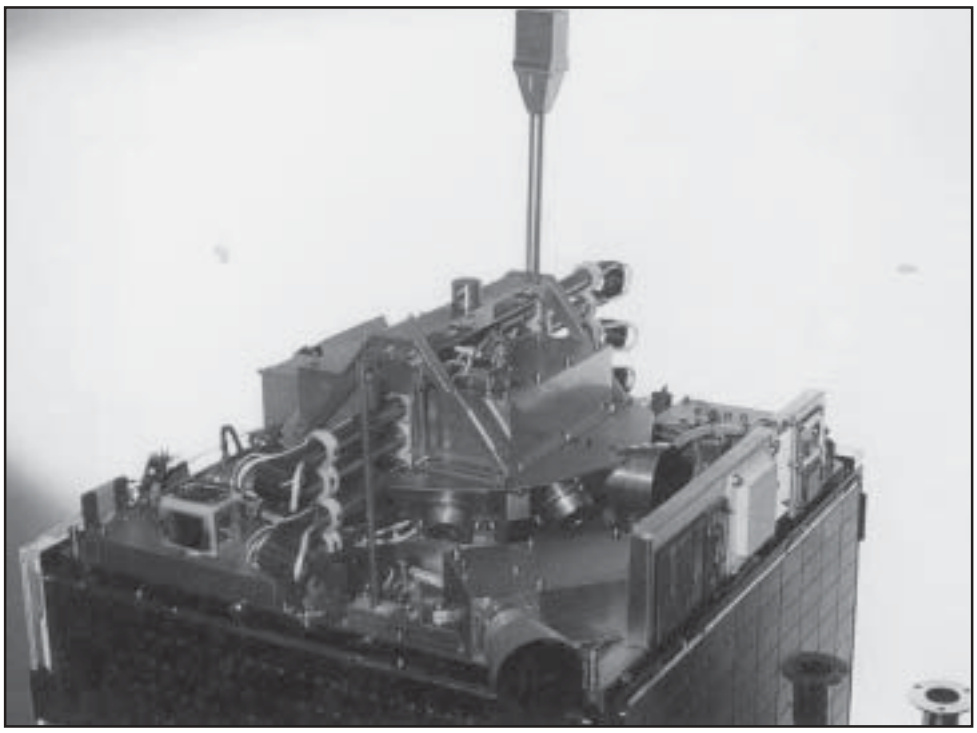
Figuur 2: *SUNSAT multispektrale kamera diagonaal monteer tussen ander substelsels*

SUNSAT beskik oor verskeie aanboordrekenaars en mikroverwerkers. Die primêre rekenaar is 'n 80C188, met 'n bewese diensrekord in vorige internasionale ruimtemissies. As sekondêre rekenaar is 'n "386"-verwerker, soortgelyk aan die wat in skootrekenaars gebruik word, op SUNSAT aangewend. Die hele SUNSAT-bedryfstelsel is so opgestel dat 'n operateur by 'n rekenaarterminaal in die grondstasie tydens 'n verbyvlug op SUNSAT se aanboordrekenaar kon aanteken asof dit net nog 'n rekenaarbediener op die netwerk is.

Oriëntasiebeheer op SUNSAT is op verskeie maniere bewerkstellig. Die satelliet word passief aardgerig gehou deur 'n lang gravitasiestang wat aan die bokant van die satelliet ontplooi is (sien figuur 3 – "Gravity Gradient Boom"). Verder is aktiewe oriëntasiebeheer uitgevoer met behulp van magneetspoele en reaksiewiele. Deur die magneetspoele wat in sonpanele van SUNSAT monteer is, op die regte oomblik te puls, kan die satelliet heroriënteer word as gevolg van interaksie met die aarde se magneetveld. Die reaksiewiele rig die satelliet tydens fotoneemsessies, deur die beginsel van momentumuitruiling tussen die satellietliggaam en die reaksiewiele. Een van die vier reaksiewiele is sigbaar in die regter- onderste hoek van figuur 2.



Figuur 3: *SUNSAT-konfigurasie in die ruimte, met ontplooide gravitasiestang*



Figuur 4: *Sensore op die topplaat asook die opgevoude gravitasiestang*

Verskeie sensore verskaf aan die beheerstelselinligting omtrent SUNSAT se oriëntasie in die ruimte. Van die instrumente is sigbaar in figuur 4, en sluit in: 'n magnetometer (hoekmetingsakkuraatheid van 5°),+horisonsensore (hoekmetingsakkuraatheid van 1°),+ sonsensore (hoekmetingsakkuraatheid van 0.1°) en stersensore (hoekmetingsakkuraatheid van 0.1°). 'n Kombinasie van hierdie metings word deur 'n Kalmanfilter verwerk, wat afskatting van die satelliet se oriëntasie aan die beheerrekenaar verskaf. Daarvolgens kan die kamera na 'n teikengebied gerig word, of die satelliet kan in 'n stadig roterende bewegingsmodus geplaas word vir eweredige verhitting deur die son.

Die satelliet voorsien ook amateurradio-kommunikasiedienste. Daarvoor bestaan verskeie senders en ontvangers op SUNSAT in die VHF (145 MHz) en UHF (435 MHz) frekwensiebande. Honderde radioamateurs wêreldwyd het van SO-35, soos SUNSAT in hierdie geledere bekend staan, gebruik gemaak vir punt tot punt kommunikasie via die satelliet en vir nie-intydse dataherleiding. SUNSAT het bekendheid verwerf as een van die satelliete met die beste radiosensitiwiteit in sy kategorie.

Die amateurradiobande is verder gebruik om telemetrie (metings van temperature aan boord, elektriese kragverbruik, ens.) van SUNSAT te ontvang en telebevele te stuur vanaf die grondstasie.

4. LANSEER EN IN BEDRYFSTEL VAN SUNSAT

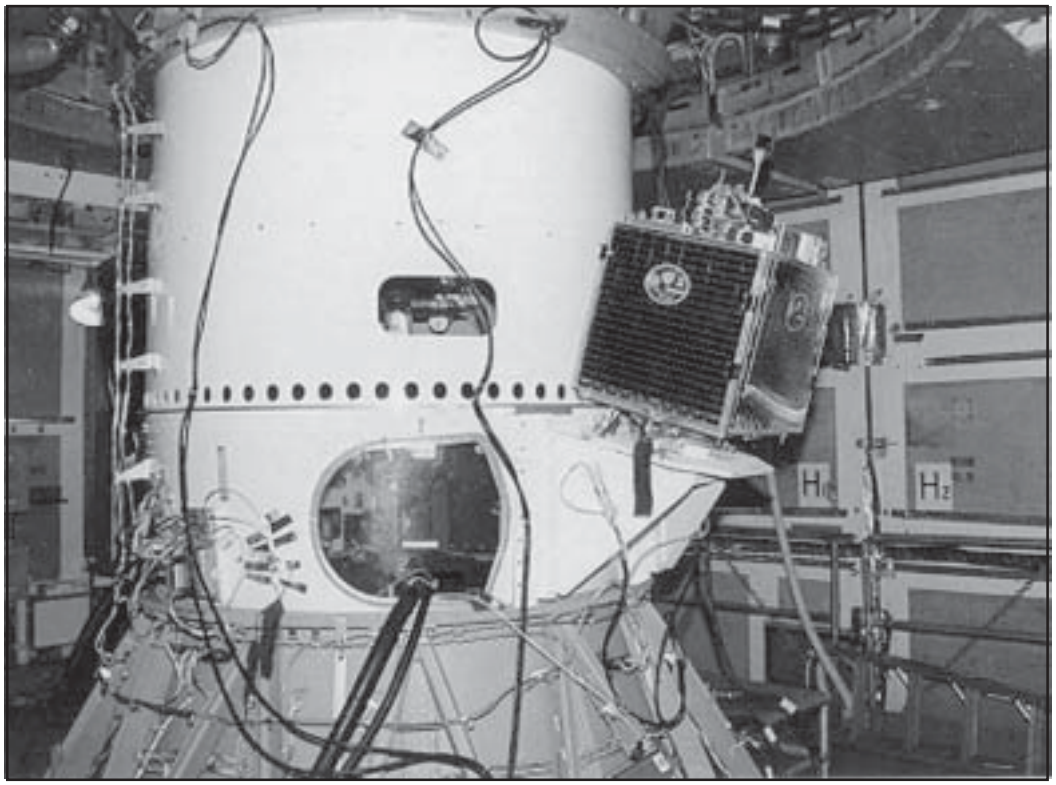
SUNSAT is op 23 Februarie 1999 op 'n Boeing Delta II-vuurpyl vanaf Vandenburg-lanseerbasis in Kalifornië die ruimte in geskiet. Die lanseerpoging op sigself is 'n hoogs gespesialiseerde operasie, met meer as 1000 grondpersoneel betrokke by elke poging. Omdat absoluut geen risiko's geloop word nie, is die geduld van verskeie Suid-Afrikaanse hoogwaardigheidsbekleërs wat die lanseergeleentheid gaan bywoon het, op die proef gestel. As gevolg van nie-ideale weersomstandighede en tegniese probleme met die vuurpyl of lanseerbasis toerusting, het dit nie minder nie as 14 aftelgeleenthede oor 'n periode van bykans 2 maande geneem voordat SUNSAT met 'n perfekte poging in die ruimte geplaas is. Vir die wat nie die geleentheid in die VSA kon bywoon nie, is die skouspelagtige naglansering direk per satelliet-TV-skakel na Suid-Afrika herlei en op verskeie plekke gebeeldsend.

Saam met SUNSAT is twee ander satelliete op dieselfde vuurpyl lanseer. Die hoofloonvrag was die Argos-navorsingsatelliet van die VSA lugmag. Die Deense Ærsted mikrosatelliet was die derde passasier.

Die wentelbaan gaan feitlik oor die aarde se pole, met 'n inklinasie van 96.4 grade. Onmiddellik nadat SUNSAT van die lanseertuig losgelaat is, het twee van SUNSAT se ondersteuningspanlede vanaf 'n tydelike grondstasie naby die lanseerbasis bevele na SUNSAT gestuur om die aanboordkragstelsel te aktiveer. Weens aanvanklike onsekerheid oor die posisie van SUNSAT in die ruimte, was kommunikasie met die satelliet onmoontlik tydens die eerste verbyvlug. Daar was benoude oomblikke toe selfs die SUNSAT-beheersentrum by Stellenbosch ook nie kontak kon maak nie. Groot was die vreugde toe SUNSAT die volgende nag van hom laat hoor het en die telemetrieseine getoon het dat batterylading- en temperatuurvlakke op die satelliet normaal was!

SUNSAT se aanvanklike wentelbaan het twee verbyvlugte van ongeveer 10 minute elk in die vroeë oggendure (02:30 en 04:00), en twee in die namiddag oor die grondstasie by Stellenbosch, meegebring. Tydens hierdie kort sessies is radiokontak gemaak om telemetrie (statusinligting) vanaf SUNSAT te ontvang en telebevele op te stuur wat die aanboordrekenaar aan die gang gesit en die satellietfunksies stelselmatig aktiveer het.

Direk na skeiding van die lanseertuig was SUNSAT in 'n stadig tuimelende modus van 1° per sekonde, soos gesien kon word uit die magnetometer-metings in figuur 6. Die magneetspoele is toe deur die beheerstelsel aktiveer om die tuimeltempo te verlaag. Daarna is 'n pirotegniese bout op die SUNSAT-topplaat afgevuur, wat die gravitasiestang ontplooi het. Die telemetrie in Figuur 6 toon duidelik hoe SUNSAT se ossilasietempo drasties as gevolg van die langer satellietkonfigurasie in die Z-as verlaag is.



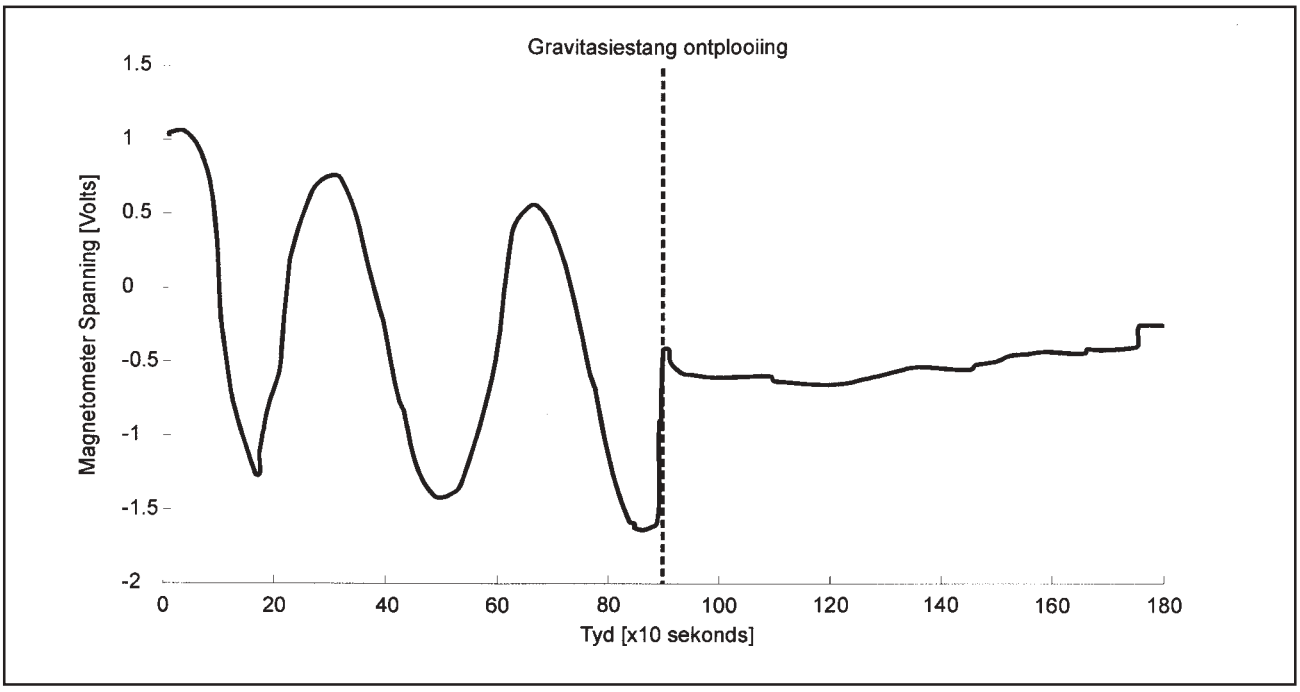
Figuur 5: *Integrasie van SUNSAT met die Boeing Delta II-lanseervoertuig te Vandenburg in Kalifornië*

Beelde van SUNSAT se kameras

Nadat die basiese bedryfsfunksies van SUNSAT aktiveer is, kon die aanboordkameras gebruik word. Twee tipes is in die satelliet ingebou: ’n klein TV-tipe kamera en die hoë-resolusie CCD-kamera wat tevore bespreek is.

Die TV-kamera neem deurlopend videobeelde op tydens ’n verbyvlug binne ongeveer 1500 km radius van die grondstasie. Daarmee is skouspelagtige “rolprente” geneem wat by waarnemers die indruk geskep dat hulle vanaf die 800 km hoë verbyvlug op Suider-Afrika afkyk. Die beelde is met behulp van die S-band kommunikasieskakel intyds na die paraboliese antenne by Stellenbosch herlei. Figuur 7 toon een raampie van die videobeeld waarop Kaap Agulhas (regs onder), Valsbaai (met ’n tipiese Kaapse winter-kouefront op pad!), St. Helenabaai en ’n strook van die Weskus sigbaar is. Die donker strepe op die beeld is deel van die bladanttennes wat op SUNSAT gebruik is.

Die hoëresolusiekamera werk soos ’n vlieënde faksmasjien deurdat die toneel onder die satelliet kontinu deur die CCD-lyndetektor geskandeer word. Die beeldinligting word lyn vir lyn in die satelliet se massageheue gestoor tydens ’n fotosessie en later na die grondstasie by Stellenbosch herlei. Figuur 8 toon ’n beeld wat afgeneem is van die Riviersonderendberge. Daaruit



Figuur 6: *Z-as magnetometerlesings ten tye van gravitasiestangontplooiing*

is die topografie van die berglandskap en die invloed van erosie as gevolg van die rivierloop duidelik sigbaar.

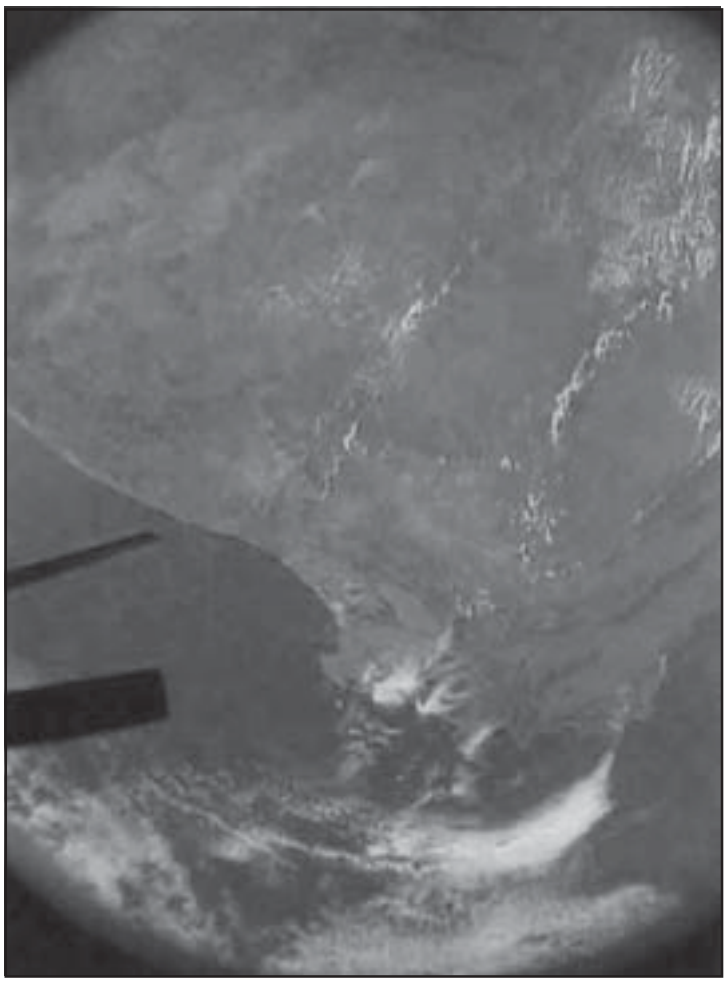
Danksy die driekleurbande en die 15 meter beeldelementgroottes wat hierdie kamera produseer, kan onderskeid gemaak word tussen plantgewasse, water, stedelike infrastruktuur, ensovoorts. Figuur 9 toon ’n SUNSAT-beeld van ’n landelike gebied in Zambië. Die detail van grondpaaie, opgaardamme, en landerye met gewasse in verskillende groeistadia is duidelik waarneembaar.

5. PRESTASIES EN SKETE

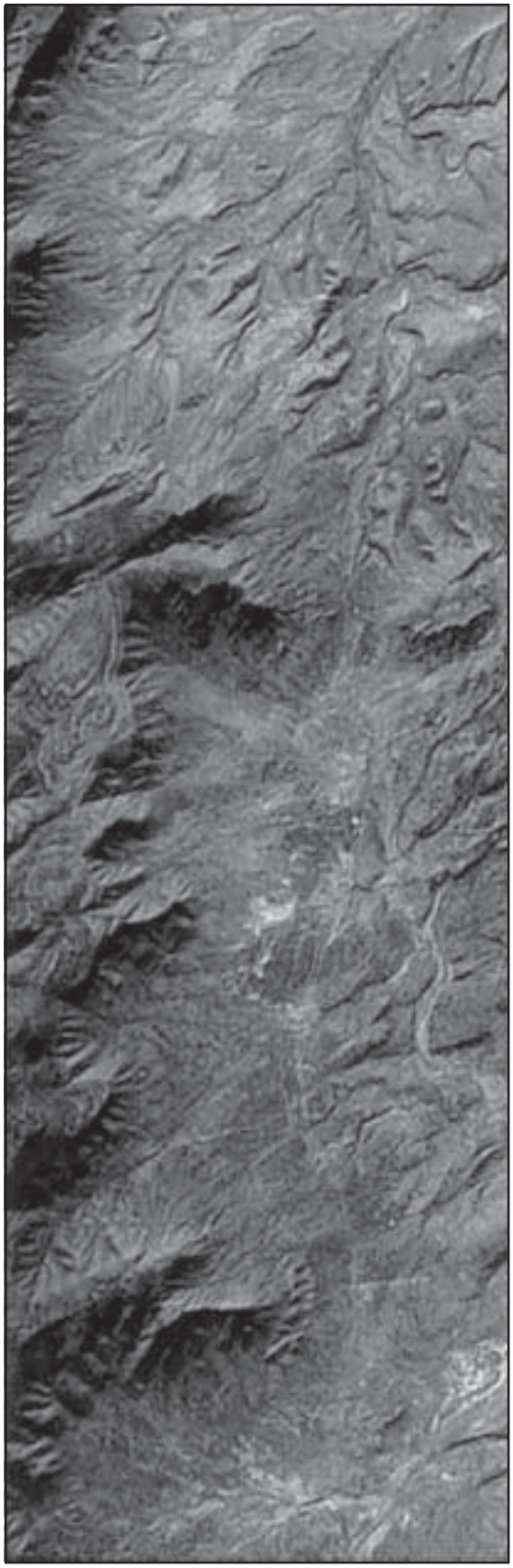
Vervolgens ’n opsomming van die suksesse en falings van die SUNSAT-satelliet. Daar kan met redelike sekerheid gesê word dat selfs 10 jaar na die aanvang van die werk op SUNSAT, dit steeds die mees komplekse mikrosatelliet is wat deur studente tot stand gebring is. Die ontwikkelingsfilosofie om ’n groot verskeidenheid eksperimentele loonvragte op die satelliet te plaas en so ver moontlik oortolligheid in die ondersteunende stelsels te ontwerp, het goeie rendemente gelewer.

Soos hierbo gemeld, het die 15 m kamera met drie kleur beelde ’n nuwe standaard in beeldwaarneming met mikrosatelliete gestel, wat tot vandag toe nog nie oortref is nie. Die vermoë om ’n beeld in massageheue aan boord van die satelliet te stoor, het beeldwaarneming enige plek ter wêreld moontlik gemaak. Die faling van die hoëspoedmodem op SUNSAT het tot gevolg gehad dat beelde met die lae bandwydte kommunikasiekanaal afgelaai moes word. Dit was ’n baie tydsame proses, want een beeld moes oor verskeie verbyvlugte stuk vir stuk afgelaai word.

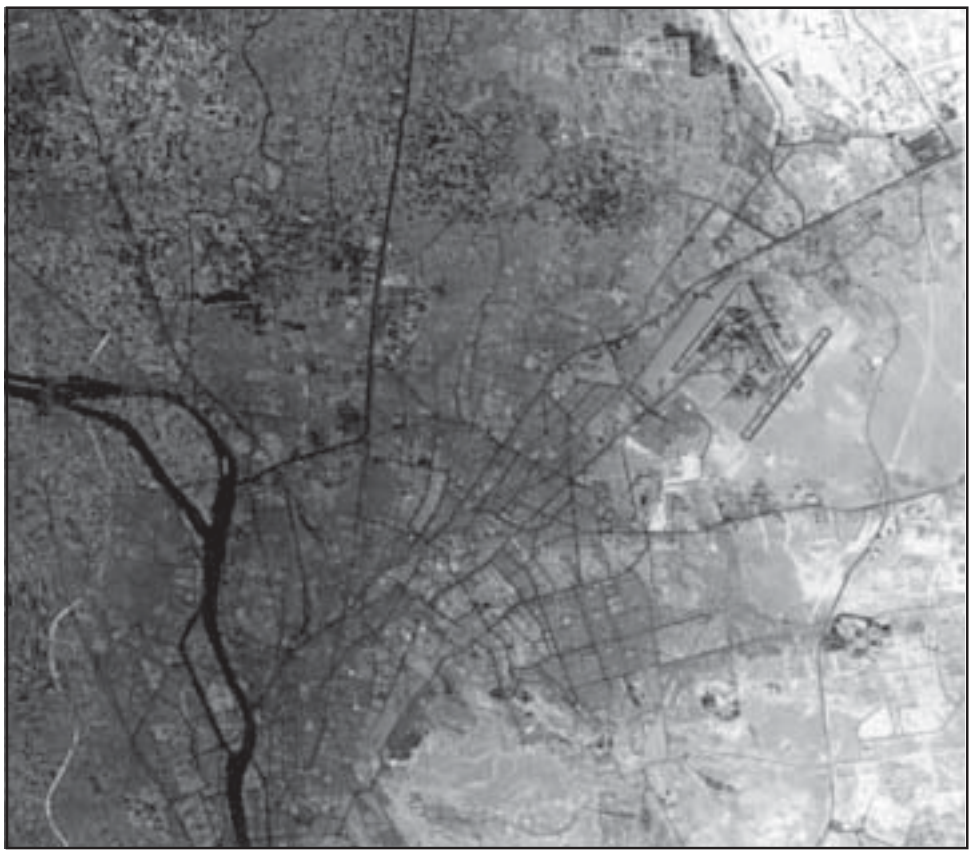
SUNSAT se wentelbaan neem dit gedurende elke omwenteling baie naby aan die aarde se pole verby. Radiokontak kan dus vandaar heelwat meer gereeld gemaak word en vir hierdie rede is daar, in samewerking met die Suid-Afrikaanse Nasionale Antarktiese Projek, ’n afstandbeheerde grondstasie opgerig by SANAE.



Figuur 7: *Videobeeld tydens ’n verbyvlug oor die Wes-Kaap*



Figuur 8: *Hoëresolusiebeeld van die Riviersonderendberge in die Suid-Kaap*



Figuur 9: *Hoëresolusiefoto van Kaïro geneem deur die Suid-Koreaanse KITSAT-satelliet, met 'n duplikaat van die SUNSAT-kamera.*

'n Duplikaat van SUNSAT se kamera wat aan 'n Suid-Koreaanse satelliet (KITSAT 3) verskaf is, lewer ook besonder goeie kwaliteit beelde. Die SUNSAT-program het dus reeds tydens sy ontwikkelingsfase uitvoere van hoëtegnologieprodukte behaal.

Die idee om hoofsaaklik 'n passiewe oriëntasiebeheer (d.m.v. 'n gravitasiestang) te gebruik, het aansienlike kostebesparing meegebring en kompleksiteit verlaag. Drie-as-beheer is gevolglik net tydens die kort oomblikke wat foto's geneem is gebruik, met die gevolg dat peperduur ruimtekwaliteit reaksiewiele, giroskope en ander oriëntasiebeheertoerusting nie nodig was nie. Reaksiewiele, magneetspoele, son-, horison- en stersensore is deur studente vir hulle skripsieprojekte ontwikkel en het die hoofkomponente van die beheerstelsel gevorm. Twee van die vier reaksiewiele en die horisonsensore het nie in die ruimte gewerk nie, maar danksy die oortolligheid in die stelsel, kon die satellietbewegings steeds vir die fotomissies en die bedryfsprosedures van SUNSAT beheer word. Die faling van die twee horisonsensore het wel die kamera se mik-akkuraatheid nadelig beïnvloed, maar dit kon darem tot 'n mate deur middel van opgradering van die satelliet se beheerstelselprogrammatuur gekompenseer word.

Een van die twee sterkameras het kort na lansering tekens van beskadiging as gevolg van radiasie vanaf die son begin toon. In Julie 2000 is daar van die ergste sonaktiwiteit van die laaste eeu waargeneem, wat ongewone hoë radiasievlakke veroorsaak het. Hoë-energiedeeltjies bombardeer satelliete gedurig, en veroorsaak gereeld skade aan elektronika, maar gelukkig meestal van 'n tydelik aard. Permanente skade is wel aan een van die sterkamerasensore aangerig en was sigbaar as 'vals sterre' of kolle op die beelde. Die skade het die sensor met verloop van tyd ondiensbaar gelaat, maar geen verdere permanente skade aan enige van die ander substelsels is opgemerk nie.

In ruil vir die kostelose lansering van SUNSAT, het SUNSAT 'n nuwe generasie GPS-ontvanger aan boord neem. Hierdie GPS-ontvanger is deur NASA se Jet Propulsion Labratories verskaf en vir geodinamiese navorsing gebruik. As deel van die ondersteuning is daar dan ook nuwe bedryfsprogrammatuur vir die GPS-ontvanger vanaf die grondstasie by Stellenbosch opgelaai, en is daar gereeld data vanaf SUNSAT aan NASA verskaf.

Omdat alle kommunikasie met SUNSAT op radiofrekwensies geskied wat vir radioamateurgebruik toegewys is, moes al die studente wat die satellietgrondstasie te Stellenbosch beman het, gelisensieerde radioamateurs wees. So het daar dan ook elke jaar 'n hele paar studente gelisensieerde radioamateurs geword.

SUNSAT OSCAR 35 is internasionaal met groot sukses deur radioamateurs op verskeie golflengtes benut. Dit was byvoorbeeld moontlik om met handgrootte draagbare radio's deur SUNSAT te kommunikeer. Een noemenswaardige geleentheid was toe daar in Januarie 2001 tussen Boveteiland en 'n radioamateur in Stellenbosch op so 'n manier kontak gemaak is.

SUNSAT se stadige wentelbaanvlakkanteling relatief tot die son veroorsaak dat die satelliet in 'n stadig wisselende mate blootgestel word aan die son. So het die wentelbaanvlak teen Julie 2000 tot so 'n mate geskuif, dat SUNSAT die heeltyd blootgestel was aan die son. Van 'n termiese oogpunt gesien, was dit baie nadelig vir SUNSAT, aangesien die satelliet se temperatuur aansienlik gestyg het. Nie net die elektronika nie, maar veral die batterye funksioneer beter by 'n lae temperatuur. Die kompartement waarin die batterye gehuisves is, is aan die onderkant van die satelliet wat normaalweg aarde toe wys. Die kompartement se temperatuur het 'n onbevredigende 56°C bereik, aangesien dit gedeeltelik na die son gerig was. Om die ongunstige situasie te verlig, is daar besluit om SUNSAT om te keer sodat die batterykompartement na die koue buiteruimte gerig kon word.

Dit het verligting gebring en die temperatuur van die batterye na 36 °C verlaag, wat baie meer bevredigend was. Teen Desember 2000 het die wentelbaan soveel verder gekantel, dat die satelliet weer vir 'n gedeelte van elke omwenteling in die aarde se skaduwee beweeg en die temperature weer genormaliseer het. Die gemak waarteen SUNSAT omgekeer en georiënteer kon word is te danke aan die reaksiewiele. Dit was nie 'n eenvoudige proses nie, aangesien slegs twee van die oorspronklike vier reaksiewiele diensbaar was. Met behulp van die werkende hei-reaksiewiel, kon die verlangde oriëntasiebewegings wel saam met die gier-reaksiewiel uitgevoer word.

6. SUNSAT RAAK STIL

Die laaste kommunikasie met SUNSAT vanaf die grondstasie in die Elektroniese Stelsels Laboratorium op Stellenbosch, was om 13:22:37 op Vrydag die 19de Januarie 2001. Na verskeie toetse sedert hierdie laaste kontak, was dit duidelik dat daar 'n katastrofiese faling aan boord van die satelliet plaasgevind het.

SUNSAT was vir ongeveer ses maande aan voltydse sonlig blootgestel, waartydens die batterye teen oormatige temperatuur beskerm is deur middel van gedurige heroriënterings van die satelliet. Nadat die eklipse (gedeeltelike verbyvlug deur die aardskaduwee) weer begin het, was dit duidelik dat die batterye se kapasiteit laag was. Die rekenaarverwerkers het tydens die eklipse weens te lae spanning herstel (Engels: "reset"). Die batteryselle is toe gekondisioneer deur 'n reeks laai- en ontlaai-siklusse. Dit het beslis gehelp, deurdat die batterye se kapasiteit sodanig verbeter het dat SUNSAT weer deur die volle eklipse kon funksioneer sonder dat die verwerkers herstel het.

SUNSAT het Vrydag 19 Januarie 2001 met 'n redelik goedgelaaide battery die laaste keer radiokontak gemaak, na 27 uur se ononderbroke bedryf sonder probleme. Daarna was radiokontak tydens sowel donker- as sonverbygange onmoontlik. Daar was geen waarskuwing van 'n stadige kragverswakking nie, en dus is batteryfaling 'n onwaarskynlike oorsaak vir die faling. Die feit dat radiokontak in die sonbeligte gedeelte van die wentelbaan ook onmoontlik was, dui daarop dat een of ander katastofale fisiese faling SUNSAT buite werking gestel het. Alle kommunikasiepaaie in en uit SUNSAT is daarna sistematies ondersoek, sonder enige suksesvolle reaksie vanaf SUNSAT.

'n Moontlike scenario wat SUNSAT kon stil maak is dat 'n stukkie ruimterommel die satelliet kon beskadig het. 'n Ander moontlikheid is dat 'n battery of kragdiode gebars het en fisiese meganiese skade veroorsaak het. 'n Verdere, maar onwaar-skynlike verklaring, is dat daar 'n enkelpunt elektroniese faling (buite die kragstelsel) plaasgevind het. Nadat daar vir alle moontlike enkelpuntfalings deur middel van alternatiewe beheerpaaie getoets is, was 'n gelyktydige elektroniese multipuntfaling die volgende moontlike rede vir 'n faling. Hierdie gebeurlikheid het 'n baie lae statistiese waarskynlikheid.

Dat SUNSAT so onverklaarbaar stil geraak het, is 'n frustrasie wat onder andere gekompliseer word deurdat ruimtestelsels moeilik inspekteerbaar is op hoë wentelbaanhoogtes. Die bykans twee jaar van nuttige bedryf en die breë ervaring wat die werk met die satelliet meegebring het, het desnieteenstaande waardevolle rendemente gelewer, soos wat voorts bespreek sal word.

7. NALATENSKAP VAN SUNSAT: tegniese prestasies

As satelliet wat deur studente ontwikkel is, toon die geskiedenis en prestasies van SUNSAT wat bereik kan word deur volharding, entoesiasme en innovasie, selfs met uiters beperkte hulpbronne.

Vanuit 'n tegniese oogpunt gesien, kan die sukses van SUNSAT gemeet word in terme van die volume data wat op en af tussen die satelliet en die grondstasie plaasgevind het. Gedurende die 696 dae wat SUNSAT bedryf was, het dit 10 027 keer om die aarde gewentel, is daar 51 hoëresolusiefoto's geneem, 937 geprogrammeerde taaklyste opgestuur, 241 700 telebevele gehoorsaam, 161 144 kilogrepe data afgestuur, 94 868 GPS-datapunte afgestuur, 1 656 kilogrepe magneto-meterdata versamel, 888 kilogrepe skole-eksperimente se data afgelaai, 7 052 kilogrepe sterkamerabeelde versamel, en ure se PAL-videodata opgeneem.

Die bostaande dui daarop dat die SUNSAT-span selfs moontlik meer gebaat het by die nagenoeg twee jaar se ruimte-ondervinding as gedurende die ontwikkelingsfase van sewe jaar. Hierdie ondervinding sal handig te pas kom gedurende verdere satelliet- en substelselontwikkelinge.

Groot eer het die Elektroniese Stelsels Laboratorium, waar SUNSAT ontwikkel en gebou was, oor die jare toegeval: 'n paar toekennings is ingepalm. Die Technology Top 100-toekenning van die Ingenieursvereniging van Suid-Afrika is byvoorbeeld in beide 1997 en 1999 ontvang, asook die Goue Medalje van die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns in 1999.

8. DIE NALATENSKAP VAN SUNSAT: opleiding

Tydens die ontwikkelingsfase het meer as 100 nagraadse studente hul navorsingsonderwerpe op SUNSAT geskoei en het so ook baie waardevolle praktiese ondervinding opgedoen. Een van die voordele om aan so 'n groot projek deel te neem, is dat dit 'n gemeenskaplike entoesiasme skep en 'n besonderse stimulerende navorsingsomgewing daarstel. Hierdie studente tree dan ook toe tot die ingenieurspraktyk met baie toepaslike kennis en ervaring.

'n Gepaardgaande wetenskapsbewusmakingsprogram, MTN-SUNSTEP wat voortgevloei het uit die SUNSAT-program, het reeds meer as 50 000 leerders bereik. Hierdie program gebruik onder andere elektroniese boustelletjies wat deur die leerders self gebou word om 'n entoesiasme vir tegnologie aan te wakker. Die program sluit aan by tegnologie as vak op skool en motiveer leerders om wiskunde en wetenskap as vak te neem.

Gedurende 1998 het die Departement van Kommunikasie van die regering Stellenbosch Universiteit genader met die versoek om 'n spesiale kursus in Satellietkommunikasie-ingenieurswese te ontwikkel. Dit het gelei tot die instel van 'n eenjarige nagraadse diploma in Satellietkommunikasie in 1999, wat in 2000 verder uitgebou is tot 'n meestersgraad in Satellietingenieurswese. Tot dusver het die Departement Kommunikasie deur 'n beursprogram dit jaarliks vir tussen 30 en 40 swart studente moontlik gemaak om in hierdie rigting verder te studeer. Meer as 60 studente het reeds die diplomakursus voltooi en daar is tans 'n verdere 30 studente ingeskryf vir 2002. Op die meestersgraadvlak is tans 28 studente ingeskryf waarvan verskeie ook later met doktorale studies behoort voort te gaan.

Die meeste van hierdie opleiding geskied by die Houwteq-fasiliteite naby Grabouw, waar die Groensat-satellietprojek destyds ontwikkel is. Hierdie fasiliteite word deur die Departement van Kommunikasie as die *Institute of Satellite and Software Applications* bedryf. Die grootste gedeelte van die opleiding en projekleiding word deur SUNSAT-gegradueerdes verskaf, in samewerking met akademici van die Universiteit van Stellenbosch.

9. DIE NALATENSKAP VAN SUNSAT: werkskepping en uitvoergeleenthede

Die Elektroniese Stelsels Laboratorium is gereeld onder druk geplaas deur internasionale versoeke om van die satelliet-tegnologie wat vir SUNSAT ontwikkel is, te verskaf. Om konflik

tussen akademiese- en besigheidsbelange te vermy, is 'n delegaatmaatskappy (Engels: "spin-off company") gevolglik gestig, waarvan Stellenbosch Universiteit deur middel van sy kommersaliseringsmaatskappy, Unistel, die hoofaandeelhouer is. Die delegaatmaatskappy, SunSpace and Information Systems, is tans besig om as deel van 'n tegnologie-oordragsprojek, 'n 150 kg satelliet vir 'n internasionale kliënt te ontwikkel. Sunspace, soos die maatskappy in die omgang bekend staan, het tans 'n permanente personeelgetal van 45 en verskaf verder aan 'n baie groter aantal persone deeltydse werk.

Op grond van 'n verwysing deur NASA het die *Australian Cooperative Research Centre for Satellite Systems* die Elektroniese Stelsels Laboratorium genader met die versoek om twee substelsels vir hulle satelliet te verskaf. Hierdie navorsing-satelliet, FEDSAT, benodig as deel van 'n aardmagneetveld-waarnemingsensor, 'n lang niemagnetiese ontplooibare stang waarop die magnetometer gemonteer kan word, asook 'n baie akkurate oriëntasiesensor. SUNSAT se suksesvolle gravitasie-stang, en 'n totaal herontwerpte sterkamera, het voldoen aan hierdie versoek. Dié twee substelsels is na 'n lang reeks omgewingstoetse aan FEDSAT gelewer, gereed vir integrasie en lansering in laat 2002. So 'n samewerking het tot gevolg dat baie waardevolle ruimte-ondervinding op substelselsvlak opgedoen word. Verder verseker sulke samewerking ook dat die betrokke jong ingenieurs die werksarena met groot selfvertroue kan betree, wetend dat hul kennis geskoei is op voorpunt hoëtegnologie.

Die kennis van die satellietbedryf en verwante tegnologieë, wat grootliks uit eie bodem ontwikkel is, verskaf noodsaaklike hoëtegnologie-werksgeleenthede in Suid-Afrika. Dit vorm dan ook 'n bekostigbare manier vir Suider-Afrika om sy eie probleme deur middel van satelliettegnologie op te los, en bespaar ook betaling aan buitelandse valuta. Die wisselkoers verseker verder 'n baie gunstige internasionaal mededingende posisie vir Suid-Afrikaanse maatskappye wat satellietsubstelsels uitvoer.

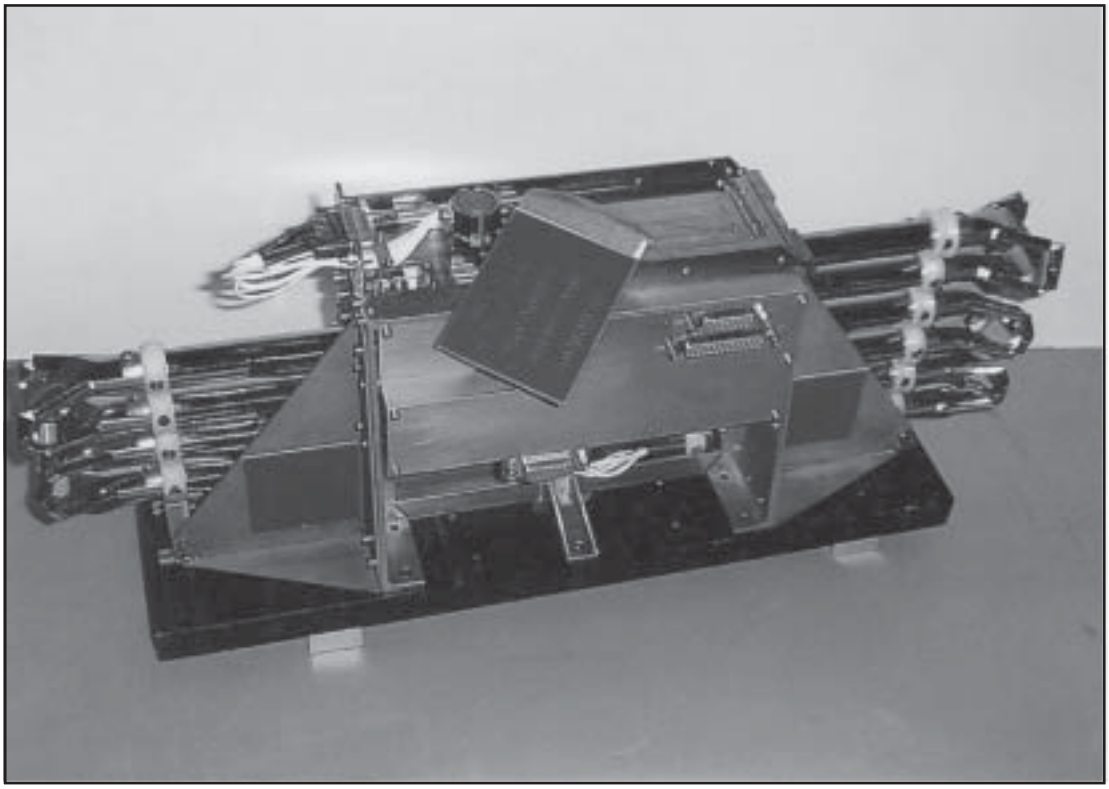
10. SUNSAT SE OPVOLGER

Na afloop van die SUNSAT-projek, en as gevolg van die groot sukses wat behaal is, is 'n opvolger 'n natuurlike voortvloeisel. Anders as in SUNSAT se geval, sal die volgende Suid-Afrikaanse satelliet 'n nasionale poging wees, en word daar voorsien dat universiteite, technikons en ander navorsings-instansies saam hieraan sal werk. Hierdie Suid-Afrikaanse wetenskaplike satellietprojek sal gebaseer wees op SUNSAT, maar met verskeie nuwe wetenskaplike loonvragte.

Uit verskeie oorde is daar groot belangstelling getoon, binnelands sowel as van moontlike internasionale belang-stellendes. Die Departement Kuns, Kultuur, Wetenskap en Tegnologie het reeds 'n haalbaarheidstudie geborg wat moontlike deelnemende satellietontwikkelaars en gebruikers van die satellietdata identifiseer, asook 'n projekkosteberaming doen. Waarskynlike toepassings vir satelliettegnologie in Suider-Afrika sluit onder andere aardwaarneming, kommunikasie, navigasie en ruimtefisika in. Presies watter van hierdie velde deur die nasionale navorsingsatelliet gedek sal word, moet nog deur die deelnemers en gebruikers bepaal word. Areas en vraagstukke van Suider-Afrika waarna gekyk moet word, sluit vloed- en gesondheidsrisikomonitering (bv. vloedskade en indirekte monitering malariamuskietbroeikolonies), omgewings-toestandsmonitering (bv. stedelike groei, gronderosie, water- en vleilande, ens.) en landbou-opnames (bv. gewastoestand en oesopbrengsvooruitskatting) in.

Die kommunikasiesubstelsels kan gebruik word vir die toets van moontlike dataversending na en van afgeleë gemeenskappe wat nie goed deur tradisionele kommunikasiemiddele bedien word nie. Die klem van die nasionale satelliet sal wees om oplossings vir Suider-Afrika se kommunikasieprobleme te vind, sonder om bestaande middele en dienste te dupliseer.

Suid-Afrika het reeds 'n lang gevestigde ruimtefisika-navorsingsprogram wat baie baat kan vind by loonvragte op die



Figuur 10: *Magnetometer en ontplooibare arm wat aan die Australiese FEDSAT-satelliet verskaf is*

navorsingsatelliet, soos byvoorbeeld aurorafotografie, magnetosferiese dataversameling, bestralings- en materiaalnavorsing. 'n Bekostigbare en volhoubare satellietprogram sal verseker dat die belegging wat die afgelope paar dekades op hierdie terrein in Suid-Afrika gemaak is, nie verlore gaan nie.

11. GEVOLGTREKKINGS

SUNSAT was en is steeds vir al die betrokkenes 'n verrykende ervaring. 'n Groot aantal gegradueerde studente het baie waardevolle ervaring opgedoen, internasionale samewerking en kruisbestuiwing op die tegnologie het plaasgevind, en groot getalle Suid-Afrikaanse skoliere se belangstelling in wetenskap, wiskunde en tegnologie is aangewakker. Die oorspronklike neergelegde doelstellings van die SUNSAT-projek is dus verwesenlik.

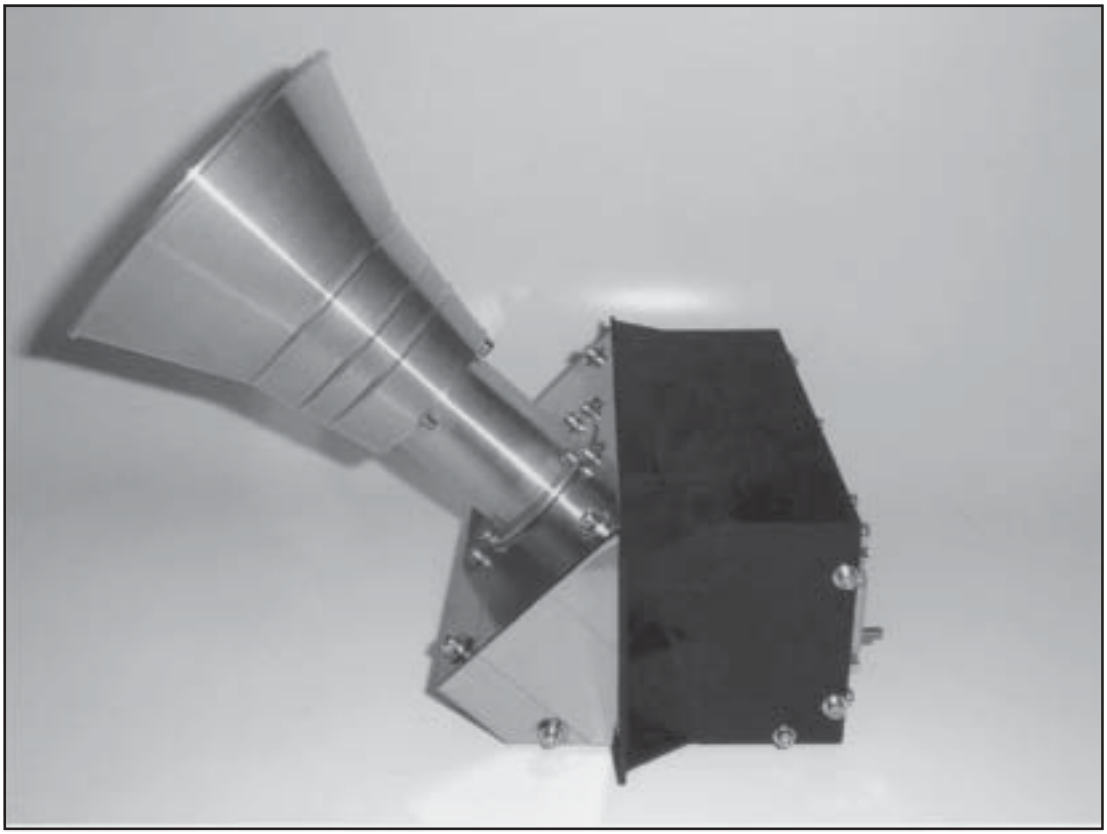
Afrika as 'n kontinent het groot vraagstukke waarvan baie deur satellietgebaseerde tegnologie aangespreek kan word. Suid-Afrika is goed geplaas om 'n leidende rol te speel deur hierdie tegnologie tot voordeel van die hele kontinent te ontwikkel en aan te pas. Hieruit sal ook verdere internasionale produkte en geleenthede kan voortspruit, wat sal verseker dat Suid-Afrika deel van die gevorderde tegnologielande bly.

LITERATUURVERWYSINGS

1. Milne, G.W., Schoonwinkel, A., Du Plessis, J.J., Mostert, S., Steyn, W.H., Van der Westhuizen, K., Van der Merwe, D.A., Globler, H., Koekemoer, J.A., Steenkamp, N. (September 1999). *SUNSAT - Launch and First Six Month's Orbital Performance*. Proceedings of the Conference on Small Satellites #13, Utah, VSA.
2. Schoonwinkel, A., Milne, G.W., Du Plessis, J.J., Mostert, S. (Augustus 2000). *Experiences on South Africa's First Satellite in Space.* Suid-Afrikaanse Instituut vir Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese, Satellite 2000 Conference, Midrand.
3. Schoonwinkel A. *South African Science Satellite and Applications: Feasibility Study Report*. (Maart 2001). Voorberei vir die Staatsdepartment van Kuns, Kultuur, Wetenskap en Tegnologie.
4. Mostert S., Schoonwinkel A., Milne G.W., D.N.J. du Toit. (Oktober 2001). *Economic Benefits of Microsatellites for Developing Nations*. 52nd International Astronautical Congress, Toulouse, Frankryk. Referaat nommer IAA.11.1.A.02
5. Schoonwinkel A., Milne G.W., Mostert S. (November 2001). *Opportunities in Satellite Based Earth Observation, Telecommunication and Navigation for Sustainable Development in Southern Africa*. Forshungsinstitut der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik, Berliner Forum Zukunft, Berlyn.

VERDERE INLIGTING

Prof. Arnold Schoonwinkel: schoonwi@sun.ac.za
Elektroniese Stelsels Laboratorium: http://sunsat.ee.sun.ac.za
MTN-SUNSTEP skoolprogram: http://www.sunstep.sun.ac.za
SunSpace and Information Systems: http://www.sunspace.co.za



Figuur 11: *Sterkamera wat aan die Australiese FEDSAT-satelliet verskaf is*

S. Mostert

Sias Mostert verwerf die volgende grade: B.Ing. (Elektroniese Ingenieurswese) met Rekenaarwetenskap, cum laude (Universiteit van Stellenbosch, 1987); M.Ing. (Elektroniese Ingenieurswese) cum laude (Universiteit van Stellenbosch 1990); Ph.D. (Elektroniese Ingenieurswese) (Universiteit van Stellenbosch, 2001). Hy is medeprofessor by die Departement Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese by die Universiteit van Stellenbosch. Hy is ook uitvoerende direkteur van programontwikkeling by SunSpace and Information Systems (Pty) Ltd. Hy het opgetree as studieleier en medestudieleier vir 12 meestersgraadstudente. Hy het 7 artikels in internasionale tydskrifte gepubliseer, 24 referate by internasionale konferensies en 16 referate by nasionale konferensies gelewer. Verder is hy ’n geregistreerde professionele ingenieur. Sy navorsingsbelangstellings sluit in: berekeningsargitekture vir intydse stelsels d.m.v. programmatuur en apparatuur; stelselingenieurswese van verspreide en satellietstelsels en skepping en ontginning van welvaart rondom universiteitsnavorsing d.m.v. programontwikkelling.

A. Schoonwinkel

Arnoldus Schoonwinkel verwerf die volgende grade: Hons.B.Ing. (Elektroniese Ingenieurswese), (Universiteit van Stellenbosch 1978); M.Ing. (Elektroniese Ingenieurswese) cum laude (Universiteit van Stellenbosch, 1971), Ph.D. (Lug- en ruimtevaartkundige Ingenieurswese) (Stanford, 1988), M.B.A. (Nagraadse Bestuurskool, Universiteit van Kaapstad, 1993). Hy is tans werksaam by die Departement Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese, Universiteit van Stellenbosch en sedert 1997 is hy mededekaan. Hy is outeur van 2 artikels wat in internasionale tydskrifte verskyn het en hy het 24 referate by nasionale en internasionale kongresse gelewer. Sy navorsingsbelangstellings sluit in: digitale beheerstelsels, nieliniêre beheer en robuuste beheer; outomatiese beheer van robotte, landvoertuie, vliegtuie en ruimtetuie en die skep van delegaatmaatskappye vanuit universiteitsnavorsing.