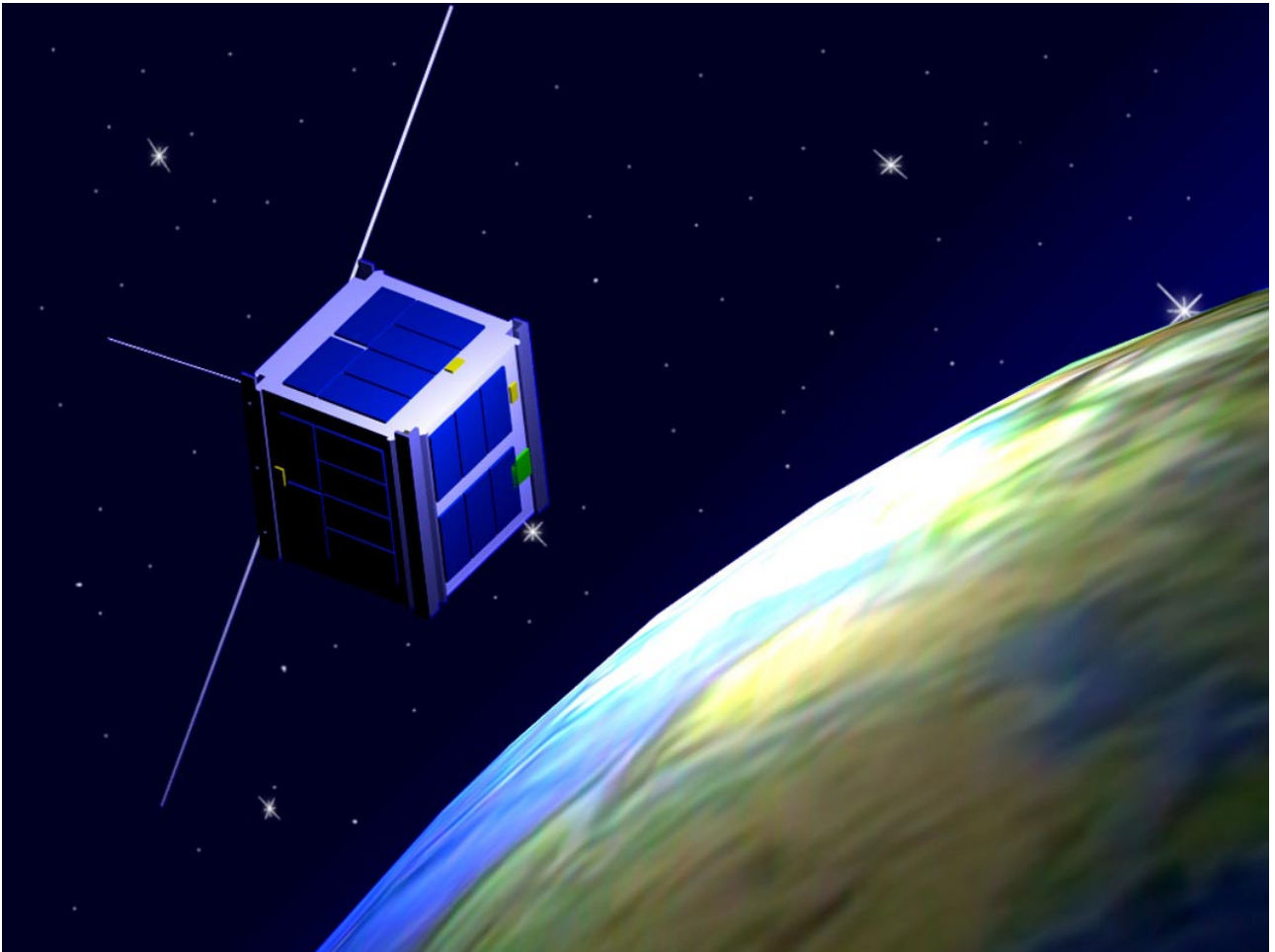


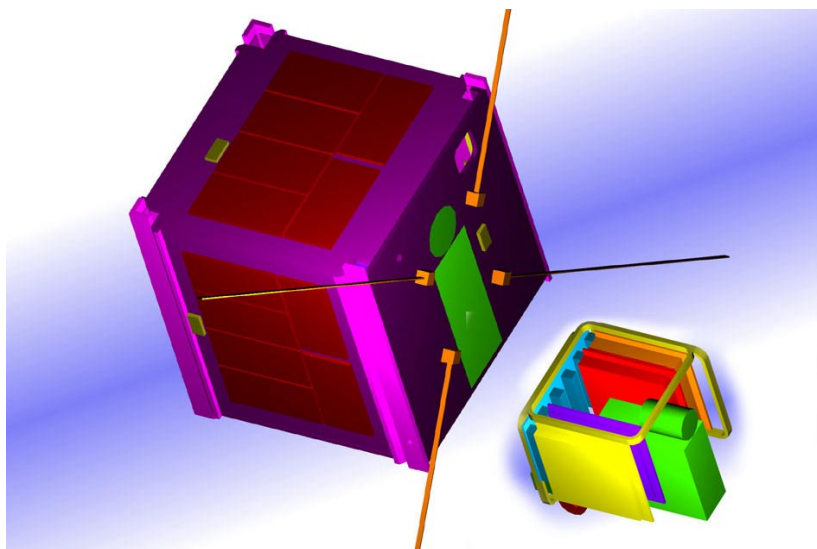
DTU_{SAT}



En studentsatellit
fra
Danmarks Tekniske Universitet

DTUsat – generel beskrivelse

DTUsat er en meget lille satellit, som en gruppe på omkring 40 studerende på Danmarks Tekniske Universitet er ved at udvikle. Færdigbygget vil den kun komme til at veje 1 kg og fylde 10×10×10 cm. De små dimensioner vil lette opsendelsen markant. Dette skyldes primært, at de ydre mekaniske mål er standardiserede, så satellitten kan opsendes sammen med flere andre såkaldte CubeSats i et fælles affyringsrør. Dermed undgår man dels at skulle finde en raket med plads til en ekstra lille satellit, dels at skulle opfinde en metode til at montere den på og frigøre den fra bæreraketten. CubeSat-konceptet stammer fra Stanford University, og er på kort tid blevet meget populært, da det gør det muligt at forkorte udviklingstiden og -omkostningerne for "hobbysatellitter" drastisk.



Projektet startede som en ide i foråret 2001 og tog rigtig fart med et kursus i satellit design, som blev afholdt i de sidste to uger af sommerferien. Vi regner med at kunne sende DTUsat op i foråret 2003. Det vides endnu ikke hvilken bane den kommer op i, men det bliver sandsynligvis en polær bane i omkring 650 km højde. Det betyder, at satellitten kommer til at overflyve hele jorden hen over polerne to gange i døgnet.

Projektets totale budget er 1,3 millioner kroner. Vi har indtil nu rejst knap halvdelen fra Det offentlige Udvalg for Rummet, som hører under Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, og fra private fonde og virksomheder.

Projektets formål

Da DTUsat er et universitetsprojekt, er et helt væsentligt formål at uddanne ingeniører. Dette projekt giver studerende mulighed for at arbejde sammen i en stor gruppe, langt større end i nogen andre projekter på DTU, med de problemer og muligheder det giver. Satellitprojektet beskæftiger lige nu 38 studerende fra DTU og 4 fra Københavns Universitet. Det betyder, at en overraskende stor del af tiden bruges på at kommunikere, at fastlægge grænseflader for modulerne og i det hele taget at samarbejde på tværs af grupper og fag.

En satellit stiller nogle strenge krav til robusthed. Det er ikke muligt at hente den hjem for lige at skifte en komponent eller sætte et stik på igen – hvis noget går galt, er der stor risiko for at missionen mislykkes. Satellitten bliver udsat for ekstreme mekaniske påvirkninger på vej op i rummet på spidsen af et ombygget russisk missil. Derefter skal den fungere i vakuum over et temperaturområde fra omkring -40°C i skyggen til omkring 100°C i solen, mens den bliver udsat for radioaktiv stråling. Det betyder at fejltolerance, kvalitetssikring og en grundig test af alle delsystemer bliver en meget vigtig del af projektet – igen en ting der traditionelt ikke bruges så meget tid på i universitetsprojekter.

Udover uddannelse af de studerende, der allerede befinder sig på DTU, ser vi et stort PR-potentiale i DTUsat. Hvis det kan kommunikeres ud til samfundet hvor meget kreativt arbejde der ligger bag et projekt som dette, hvilken fascination og skaberglæde der trækker det, tror vi at der er mulighed for at udrydde nogle fordomme om hvad ingeniørfaget er, og dermed tiltrække nye studerende til faget. Vi har bl.a. planer om at gøre jordstationen offentlig tilgængelig via Internet, så fx gymnasieelever kan hente data fra satellitten.

Succeskriterier

For at kunne vurdere DTUsat har vi stillet nogle prioriterede succeskriterier op.

At alle lærer noget. Dette mål er allerede opfyldt, men der er naturligvis mere at lære.

At få de forskellige moduler færdige og dokumenteret, så andre, evt. fremtidige DTU-satellitter, kan få glæde af dem, og så der ikke skal startes forfra hvis et hold eller enkeltpersoner falder fra undervejs

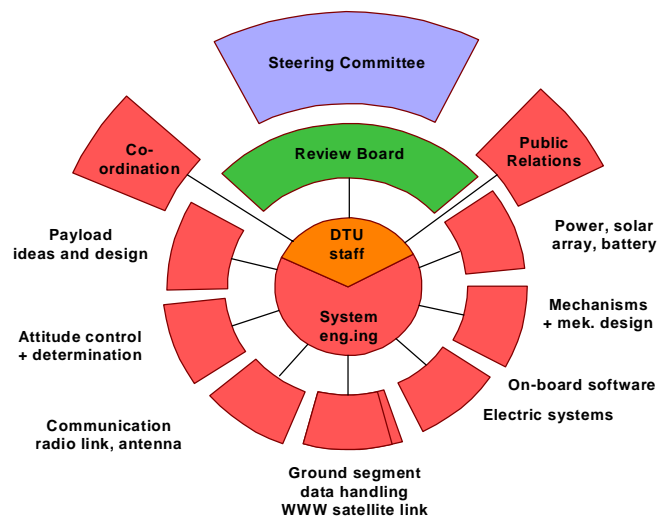
1. At modtage data fra satellitten, der fortæller om delsystemernes status
2. At etablere tovejskommunikation med satellitten
3. At opnå fuld kontrol over satellittens orientering og bevægelse i rummet.
4. At modtage billeder af jorden fra det indbyggede kamera
5. At udfolde en lang aluminiumstråd fra satellitten, en såkaldt tether
6. At ændre satellittens bane ved hjælp af styring af elektriske strøm i tetheren

Denne prioritering afspejler kombinationen af antallet af delsystemer der skal fungere før et succeskriterium er opfyldt, og risikofaktorerne ved de enkelte delmål. Flere detaljer om satellitten og dens delsystemer kan findes på de sidste sider af denne beskrivelse.

Organisation

Der er meget arbejde i at designe og bygge selv en så lille satellit. For at kunne håndtere det, har vi organiseret os i 11 grupper, der hver arbejder med et af de moduler, som satellitten består af. Hver gruppe, der består af 1-6 personer, har tilknyttet en vejleder fra DTU til at hjælpe med at sørge for at arbejdet skrider frem og at gruppen ikke sidder fast undervejs.

Trådene samles i en gruppe, der på godt dansk kaldes System Engineering. Det kan oversættes til en mellemting mellem systemdesign, integration og samarbejde. Den har til formål at sørge for, at grupperne arbejder hen imod en enkelt satellit, som kan sættes sammen og bringes til at fungere. System Engineering-gruppen holder styr på grænsefladerne mellem de enkelte moduler, sørger for at både effekt-, vægt- og økonomiske budgetter



holdes og sørger for, at der ikke er nogen områder af satellitten der bliver glemt, fx fordi alle grupperne troede at de andre tog sig af dem. Desuden fungerer den fremragende som ideudvekslingsforum – hvis en gruppe sidder med et problem, er der ofte en i en anden gruppe der sidder med mindst et forslag eller inspiration til en løsning. System Engineering er et åbent forum, men som hovedregel har grupperne valgt en repræsentant til at deltage fast.

Ud over disse grupper findes der en styrekomité og en vejledergruppe. Styrekomitéen har deltagelse fra danske virksomheder og institutioner, der har erfaring med satellitter og rummet, samt fra studerende og vejledere på projektet. Styrekomitéen har også det overordnede økonomiske ansvar for projektet. Vejledergruppen er mere uformel og består af de vejledere der er tilknyttet projektet. De har begge til formål at holde et overblik over hele projektet og forsøge at fange eventuelle smuttere fra System Engineering.

Yderligere informationer?

DTUsat har en hjemmeside på <http://www.dtusat.dtu.dk>. Den er primært en intern arbejdsseite, der indeholder de dokumenter grupperne arbejder på. Der er fri adgang til alt materiale, og indblik i hvad grupperne arbejder på netop nu.

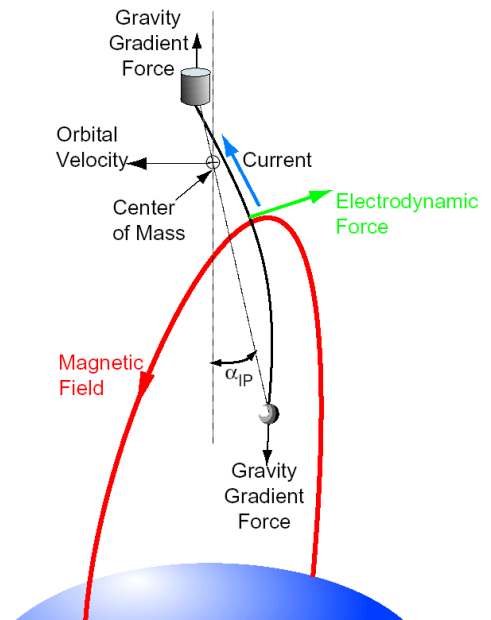
Teknisk formål – hvad kan den?

De følgende sider forsøger at give et kort overblik over de tekniske udfordringer der ligger i at bygge en satellit som DTUsat.

I kommercielle satellitter kaldes det tekniske formål med satellitten dens payload – det eller de systemer der er grunden til at satellitten sendes op. Payloaden er typisk et videnskabeligt eksperiment (som fx magnetometeret på Ørsted), et kamera (på Landsat, Meteosat og diverse spionsatellitter) eller en radiosender og -modtager (på alle kommunikationssatellitterne). Resten af satellitten – de systemer der skal være der for at payloaden kan fungere – kaldes platformen og forbigås ofte lidt i tavshed. Den skal bare være der og fungere. I og med at DTUsat er en studentsatellit fra et teknisk universitet gælder denne prioritering ikke. Dels er platformen en ligeværdig del af projektet, da den på lige fod med payloaden er bygget fra bunden af studerende, og dels bliver projektets absolut vigtigste payload slet ikke sendt op, da den består af de erfaringer vi opnår ved at bygge satellitten.

Elektrodynamisk Tether

En af satellittens payloads er en elektrodynamisk "tether", en aluminiumssnor på omkring en kilometers længde, der skal opsamle frie elektroner i rummet. Ved at udsende de opsamlede elektroner fra satellitten vil der løbe en strøm i tråden. Da satellitten bevæger sig i jordens magnetfelt, vil det give anledning til en påvirkning af satellitten, der kan ændre dens bane uden at bruge brændstof. Denne teknik er blevet forsøgt implementeret før, men det er mislykkedes for både NASA og ESA. Vi håber det Måske kan det lykkes for os?



Aktiv Pixel Kamera

Den anden payload består af et kamera, der skal tage billeder af jorden, først og fremmest til PR-formål. Vi planlægger at opsende et CMOS-kamera, der er en ny, relativt billig og meget lidt strømkrævende teknik. Vi forventer ikke at producere billeder i verdensklasse, men det ville da være sjovt at kunne genkende Danmark, og se hvordan vejret er i Timbuktu på et billede fra ens egen satellit. Desuden kan værdien af denne payload forstås og præsenteres uden videre, også for folk uden særlige tekniske forudsætninger.

Målesender

Den tredje payload er en målesender, der kan hjælpe radioamatører med at teste hvor følsomt deres udstyr er. Denne sender er en gentjeneste – det internationale amatørsatellitforbund, AMSAT, giver os lov til at bruge en af deres frekvenser til at kommunikere med satellitten. Til gengæld vil de naturligvis gerne have noget at bruge satellitten til, hvilket er lidt svært at give mulighed for på grund af den meget begrænsede elektriske effekt ombord. Vores ide er at udsende en besked via radioen gentagne gange, med lavere og lavere signalstyrke. Styrken af den sidste besked, som en radioamatør kan høre, giver han et mål for hvor følsomt hans udstyr er.

Det er planen at navne på satellitbyggerne og udvalgte andre skal indlægges i computerens hukommelse. Når en given kommando sendes op til satellitten, vil navnelisten blive transmitteret tilbage til de der lytter på jorden.

Nye produkter fra danske virksomheder

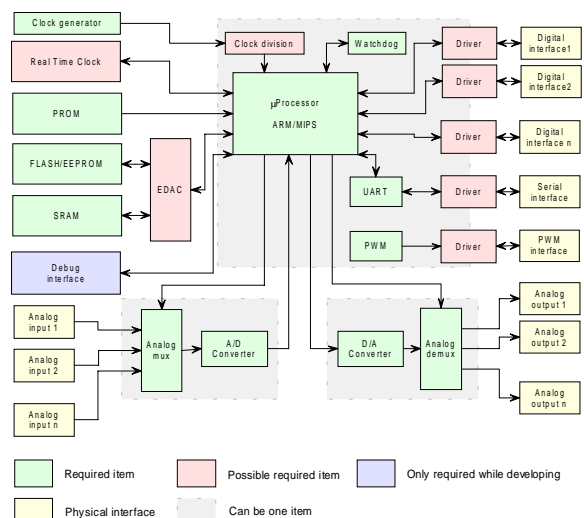
Som femte og sidste payload har vi kontakt med flere danske firmaer, der er interesserede i at vi tager deres produkter med for at afprøve dem i rummet.

Elektrisk energi

For at disse payloads skal kunne fungere, skal resten af satellitten, platformen, tilbyde en del services. Først og fremmest skal der bruges strøm. Den leveres af en strømforsyning, der udnytter solceller på satellittens sider til at producere den, og et genopladeligt batteri, der gemmer den til tidspunkter, hvor der skal bruges mere strøm end solcellerne kan levere, fx når satellitten befinder sig i jordens skygge. Da satellitten er så lille, er det ikke så nemt endda. Både små og store satellitter har brug for en radio. Der er ikke så stor forskel på hvad den skal kunne, men en stor satellit har plads til langt flere solceller og dermed langt mere effekt til rådighed i forhold til netop dette delsystem. Denne problematik gentager sig i næsten alle de delsystemer vi har.

Computer ombord

For at kunne styre alle funktioner ombord har vi en lille computer med. Den er ikke meget større end et kreditkort, men har alligevel en hel megabyte hukommelse til programmer og data. Computeren er temmelig kraftig i forhold til satellittens størrelse og behov. Grunden til at vi har behov for så kraftig en computer er at vi forsøger at bygge hardware og udvikle software, der uden videre ville kunne indgå i den næste DTU-satellit. Det betyder, at softwaren er nødt til at være meget generel og modulopdelt, hvilket er tungere for computeren at køre end kode der er optimeret til lige præcis denne mission. Softwaren ombord er samtidig nødt til at være exceptionelt stabil. En af de specielle udfordringer er at kunne konfigurere og opgradere softwaren undervejs, fx til at holde op



med at bruge et system der har udviklet en fejl. Desuden er rummet et hårdt miljø for software at arbejde i, da den radioaktive stråling kan medføre at programmerne ændrer sig. Derfor er vi nødt til at kunne sende ny software op fra jorden til at erstatte den fejlbehæftede.

Radio



Et andet kritisk delsystem er satellittens radio. Hvis satellitten ikke kan kommunikere med jorden er der egentlig ingen grund til at gøre så meget ud af at bygge den – så kunne man lige så godt sende en betonklods op. Radioen gør det muligt at finde ud af hvordan satellitten har det, hente data fra payloads og kommandere satellitten til at gøre noget. At designe den antenne, som radioen skal bruge for at kunne kommunikere, er ganske udfordrende i sig selv. Der er ingenting i umiddelbar

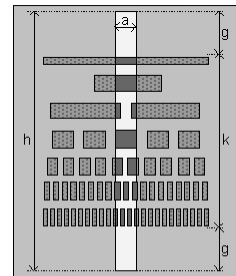
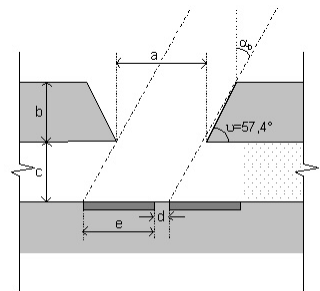
nærhed andet end en satellitkrop, der oven i købet er ledende. Satellitten og dens antenner må beregnes som et samlet system, der tilsammen skal udstråle på en måde så vi kan tale med satellitten uanset hvordan den vender i rummet.

Retningsbestemmelse

I rummet er det svært at navigere. Satellitten måler sin retning til solen og retningen af jordens magnetfelt, og derigennem beregnes hvordan den vender i forhold til jorden. De særlige sensorer, som skal bruges, fremstiller vi selv.

Retningsstyring

Retningsstyring foregår med et såkaldt tre-akset attitudekontrollsystem, der kan få satellitten til at vende sig i rummet. Det vil vi også bruge jordens magnetfelt til. Ved at have elektromagneter ombord kan vi få satellitten til at rette sig ind efter magnetfeltet på samme måde som en kompasnål. Der er nogle ting der gør det svært at opnå en god kontrol over satellittens bevægelser på denne måde. Dels skifter jordens magnetfelt retning alt efter hvor satellitten er, og dels kan man ikke regulere satellittens rotation omkring feltlinierne. Hvis satellitten skal drejes omkring en akse der peger i magnetfeltets retning, er vi nødt til at vente til vi kommer ind i et område hvor magnetfeltet vender anderledes, hvilket er en del mere besværligt end bare at kunne gøre det øjeblikkeligt med inertihjul eller manøvreraketter. Fordelen ved denne måde at regulere attituden på er at der ikke skal bruges tung mekanik eller brændstof, men kun spoler, strøm, regnekraft og tid.



Skitse af digital version af solsensor "on a chip" til DTUsat1.

On-board programmel

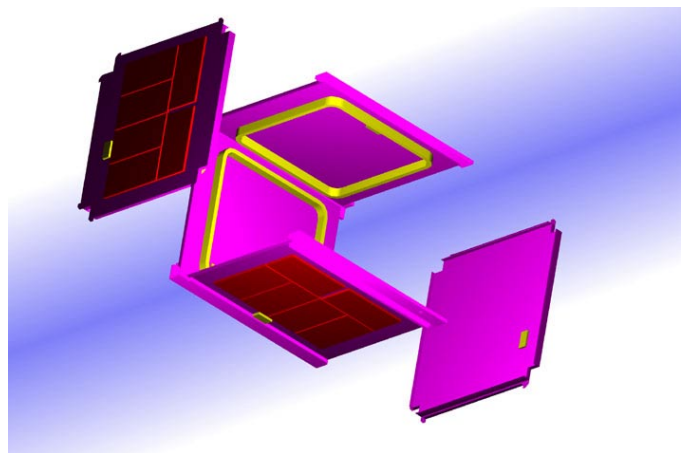
Onboard software gruppen arbejder med den software som skal køre på satellittens computer. Satellittens computer styrer de mange forskellige delmoduler som satellitten består af og er en del af den platform der er nødvendig for at payloaden kan operere. Onboard softwaren dækker følgende områder:

- Kommunikation - Både internt på satellitten og med jorden
- Scheduling - Afvikling af bestemte kommandoer på bestemte tidspunkter
- Housekeeping - Indsamling af statusdata fra de forskellige moduler (strøm, attitude, payload, etc.)
- Autonomi - Håndtering af fejl når satellitten ikke har jordkontakt

På grund af kravene til størrelse, vægt og strømforbrug er der kun en computer til rådighed på DTUsat. Det betyder at alle de forskellige moduler skal dele den samme computer. Det er derfor også en del af software gruppens arbejde at definere en ramme for hvordan softwaredelen af de forskellige moduler skal udformes, således at de kan afvikles samtidigt, uden at det giver anledning til konflikter og fejl.

Mekanisk struktur

Sidst, men absolut ikke mindst, skal der bruges en mekanisk struktur til at samle alle delene til en satellit. DTUsat skal kunne holde til at blive sendt op med en raket, hvilket stiller nogle temmelig store krav til hvor stærk strukturen skal være. På den anden side må den ikke veje for meget, for satellittens maximale vægt er præcis 1 kg. Det gælder altså om at optimere den måde materialerne bruges på meget grundigt. Strukturen har også til opgave at passe på at elektronikken ombord ikke bliver udsat for så meget stråling og så ekstreme temperaturer, at den holder op med at fungere.



Jordstation

For at holde kontakt til satellitten bygger vi en jordstation der indeholder en antenne, en radio, computer og andet udstyr. Jordstationens software skal automatisk pege antennen mod satellitten når den flyver forbi et par gange om dagen. Programmet skal også sørge for, at kommandør til satellitten bliver sendt af sted og data bliver hentet ned i korte tidsrum hvor der er kontakt. Det er nemlig vigtigt, at jordstationen fungerer ubemandet og pålideligt, så der ikke skal sidde en mand og overvåge satellitten hele døgnet. Endelig oversættes data fra satellitten til billeder og grafer, som kan præsenteres på DTUsats hjemmeside.

Listen understreger hvor afhængige alle moduler er af hinanden. Der er ikke ret meget der skal gå galt før DTUsat hænger hjælpeløst i rummet uden at kunne foretage sig noget, hvilket understreger hvor vigtigt det er at have testet alle systemer grundigt – også sammen – før opsendelsen.

Vi håber at denne beskrivelse har givet et indtryk af hvor stort, vidtspændende og bare alment spændende dette projekt er. Hvis du har yderligere spørgsmål, er interesseret i at støtte os eller i at være med, hører vi meget gerne fra dig. Besøg [http://www.dtusat.dtu.dk!](http://www.dtusat.dtu.dk)