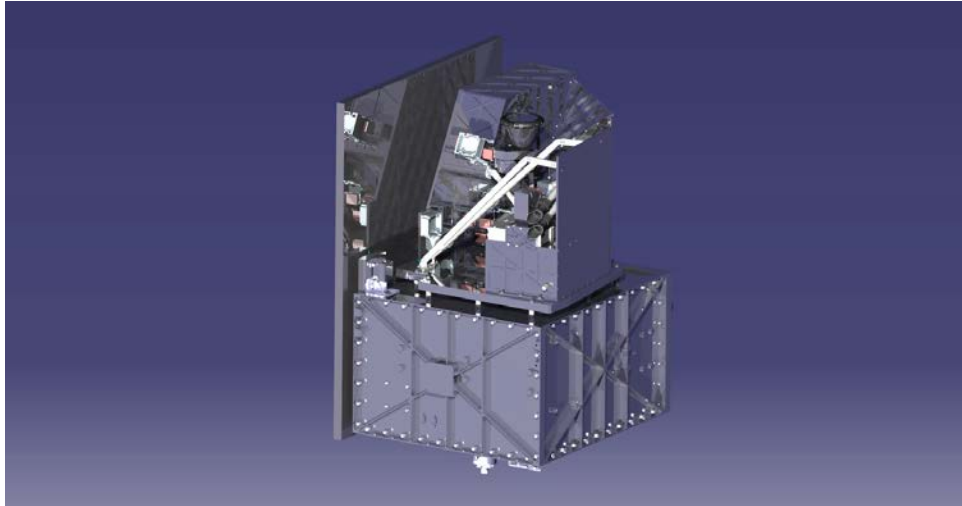




CHALMERS



Pedagogisk modell av Sveriges nästa satellit

Konstruktion och framtagning av modell av satelliten MATS

Rapport för kandidatarbete 2018

IMSX15-18-03

Anton Andersson
Erik Gunnarsson
Erik Ingemarsson
Sandra Säfdal

antoand@student.chalmers.se
erigunna@student.chalmers.se
erikin@student.chalmers.se
safdal@student.chalmers.se

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP, CHALMERS
Chalmers Tekniska Högskola
Gothenburg 2018, Sweden

Pedagogisk modell av Sveriges nästa satellit

Konstruktion och framtagning av modell av satelliten MATS

ANTON ANDERSSON
ERIK GUNNARSSON
ERIK INGEMARSSON
SANDRA SÄFDAL



CHALMERS

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP, CHALMERS
Chalmers Tekniska Högskola
Gothenburg 2018, Sweden

Pedagogisk modell av Sveriges nästa satellit

Konstruktion och framtagning av modell av satelliten MATS.

ANTON ANDERSSON

ERIK GUNNARSSON

ERIK INGEMARSSON

SANDRA SÄFDAL

© ANTON ANDERSON, ERIK GUNNARSSON,
ERIK INGEMARSSON, SANDRA SÄFDAL, 2018.

Handledare

Göran Stigler, *Forskningsingenjör*

Erik Hulthén, *Docent på avdelningen för Produktutveckling, Institutionen för industri- och materialvetenskap*

Extern handledare

Ole Martin Christensen, *Affilierad forskare, institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap*

Examinator

Lars Almefelt, *Universitetslektor på avdelning för Produktutveckling, Institutionen för industri- och materialvetenskap*

Kandidatarbete IMSX-15-18-03

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon 031 772 1000

Försättsblad: Rendering av prototypen MATS

Göteborg, 2018

Abstract

This paper presents a product development project for a model of the next Swedish satellite MATS. MATS is planned to launch during 2019 and will investigate noctilucent clouds and atmospheric waves. The satellite is divided in to two parts, the platform and the instruments, both developed and produced in Sweden by OHB Sweden, located in Stockholm, and Omnisys Instruments, located in Gothenburg. The project aims to develop a physical model which can be used in presentations to create interest for the MATS project and the Swedish space industry among the general public.

The project covers a collection of data where the requirements of the model were investigated by polls and interviews with members of the MATS project during field trips. It was found that the primary demand set for the model was representability of the real satellite whilst allowing for portability in terms of weight and structural integrity.

During the development of the concept, the following methods and tools were used:

- Function analysis
- Requirement listing
- Brainstorming for generation of ideas
- Morphologic matrices for generation of concepts
- Pugh-& Kesselring matrices to evaluate alternatives

The result comprises a concept for a representative model of MATS, complete with blueprints for the model and a prototype for visualization and validation of the concept. The design of the model has been achieved by recreating obtained CAD models with simplifications so to allow for production in a model workshop.

Main features of the final concept are the ability to disassemble the model in four major parts to allow for easier transport and alterations so that it is possible to see the insides of the platform and the limb instrument. The limb instrument has been equipped with electroluminescent wires which can then be controlled with buttons to illustrate the path of light through the instrument.

The project's main conclusions are:

- The study shows that stakeholders all considered the model's ability to represent the real satellite to be its most important feature.
- It was determined that the constructed prototype successfully validated the project's results in terms of producibility, portability and as an accurate representation of the MATS satellite.

Sammanfattning

I rapporten presenteras ett produktutvecklingsprojekt för en presentationsmodell av Sveriges nästa satellitprojekt MATS. Satellitens uppskjutning är planerad till år 2019 då den skall undersöka uppkomsten av nattlysende moln och atmosfärvågor. MATS består av två delar, en plattform och en instrumentdel, och är utvecklad och konstruerad i Sverige av OHB Sweden i Stockholm och Omnisys Instruments i Göteborg. Det här vill göras känt för allmänheten för att skapa ett intresse för forskning och svensk rymdindustri och ansvarig för projektet MATS har därför bitt om hjälp med att ta fram en presentationsmodell som ska användas som redskap på föreläsningar i ett marknadsföringssyfte.

Arbetets omfattas av en datainsamling där behov undersöks bland annat genom enkätundersökningar och intervjuer vid studiebesök. De huvudsakliga krav som identifierades var att modellen skulle eftersträva att representera verkligheten i största möjliga mån och att den behövde kunna transporteras av en ensam person. Vid framtagningen av konceptet för modellen har bland annat följande metoder och verktyg tillämpats:

- Funktionsanalys
- Kravlistning
- Brainstorming för idégenerering
- Morfologiska matriser för generering av koncept
- Pugh- & Kesselingsmatriser för värdering av koncept

Resultatet utgörs av ett koncept på en representativ modell av MATS, ett komplett konstruktionsunderlag för modellen och en prototyp för visualisering och validering av konceptet. Modellen är designad efter tillgängliga CAD-modeller och har konstruerats så att den är möjlig att producera i en modellverkstad.

Slutkonceptets huvudfunktioner är möjligheten att montera isär modellen för att enklare kunna transportera den. Förändringar har gjorts så att det i instrument och plattformen finns möjlighet till insyn för att illustrera ingående komponenter och så att det är möjligt att illustrera ljusets väg genom limbinstrumentet.

De viktigaste slutsatserna i projektet är:

- Förstudien visade att vad projektets intressenter önskar att se är en trovärdig modell, därför blev primär funktion hos modellen att *ge ett trovärdigt intryck* av satelliten MATS. Slutkunden kan använda den för att visa MATS ingående komponenter samt illustrera limbinstrumentets funktion.
- Prototypen av modellen ansågs validera konstruktionsunderlaget då den efterliknade originalprodukten väl, uppfyllde kraven för transporterbarhet och var möjlig att tillverka med de resurser som fanns inom projektets avgränsningar.

Förord

Rapporten utgör dokumentationen av kandidatarbetet som utfördes under våren 2018 av författarna från Chalmers Tekniska Högskola vid institutionen för Industri- och materialvetenskap. Arbetet utfördes av totalt fyra civilingenjörstudenter från programmen Maskinteknik samt Teknisk Design. Vi vill tacka våra handledare Göran Stigler, Ole Martin Christensen samt vår handledare och examinator Lars Almefelt. Vidare vill vi även tacka personalen på OHB Sweden och Omnisys Instruments för en trevlig och lärorik rundtur på respektive företag.

Projektgruppen, Göteborg, maj 2018

Innehållsförteckning

Figurer	XI
Tabeller.....	XIII
1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Mål	1
1.3.1 Presentationer av satelliten MATS ska nå en mycket bred målgrupp.....	2
1.3.2 Allmänheten bör göras mer medveten om omfattningen av Göteborgs rymdindustri	2
1.3.3 Framtidens ingenjörer bör finna presentationen inspirerande så att fler söker sig till branschen.....	2
1.4 Frågeställningar	3
1.5 Avgränsningar	3
2. Teori om rymden och satelliter	5
2.1 Generell teori om rymden	5
2.1.1 Nattlysande Moln	5
2.1.2 Atmosfärvågor.....	6
2.2 Generell teori om satelliter	6
2.2.1 Uppbyggnad	8
2.2.2. Historia och olika sorters projekt	8
2.3 MATS.....	8
2.3.1 Projektet MATS	8
2.3.2 Satelliten MATS.....	9
3. Metodöversikt.....	15
3.1 Datainsamling.....	15
3.1.1 Studiebesök	15
3.1.2 Intervjuer	15
3.1.3 Intressentanalys	15
3.1.4 HTA.....	16
3.1.5 Funktionsanalys.....	16
3.1.6 Krav- & designspecifikation	16
3.2 Designfas	16
3.2.1 Brainstorming.....	16
3.2.2 Skissning	17
3.2.3 Fysiska prototyper	17
3.2.4. Morfologisk matris.....	17
3.2.5 Pugh- och Kesselringsmatris	17

3.3 Konstruktionsfas.....	18
3.3.1 Verkstad	18
3.3.2 CAD – Ett datorprogram	18
3.3.3 Additiv tillverkning med 3D-skrivare	19
3.3.4 Skärande bearbetning med Laserskärare	19
3.4 Utvärderingsfas	19
3.4.1 Iteration	20
3.5 Dokumentation	20
3.5.1 Skriftlig dokumentation, ritningar, och digitala modeller	20
3.5.2 Prototyp	20
4. Genomförande och resultat	21
4.1 Datainsamlingsfas	21
4.1.1 Studiebesök	22
4.1.2 Intervjuer	23
4.1.3 Enkätundersökning.....	26
4.1.4 Intressentanalys	27
4.1.5 Resultat från empiriska studier.....	28
4.1.6 HTA och funktionsanalys.....	29
4.1.7 Kravspecifikation	33
4.2 Designfas	37
4.2.1 Brainstorming - generella idéer utanför datainsamling.....	37
4.2.2 Delsystem för satelliten.....	37
4.2.3 Konceptgenerering - utifrån Brainstorming och Morfologisk matris	38
4.2.4 Konceptval - med Pughmatris & Kesselrings	41
4.3 Konstruktionsfas.....	47
4.3.1 InnoSat	47
4.3.2 Solpanel.....	51
4.3.3 Övriga komponenter i instrumentet.....	56
4.3.4 Limbinstrumentet	60
4.4 Utvärderingsfas	63
4.4.1 InnoSat	63
4.4.2 Solpanel.....	64
4.4.3 Övriga komponenter i instrumentet.....	64
4.4.4 Limbinstrumentet	65
4.5 Dokumentationfas	65
4.5.1 Ritningar.....	66
4.5.2 Stycklista.....	66

4.5.3 Bruksanvisning.....	66
4.5.4 Prototyp	66
5. Diskussion	67
5.1 Slutresultatet.....	67
5.1.1 En realistisk representation?.....	67
5.1.2 En användbar modell?	68
5.2 Resultatets validitet	68
5.2.1 Kravbild - Vilken användningssituation?.....	68
5.2.2 Rimliga materialval och tillverkningstekniker - Vem tillverkar slutprodukten?	69
5.2.3 Rimliga materialval och tillverkningstekniker - Vem tillverkar slutprodukten?	70
5.3 Modellens ändamålsenlighet - Rätt för uppdragsgivarens mål?	70
6. Slutsats	73
7. Rekommendationer och framtid.....	75
Litteraturförteckning	77
Bilagor – Innehåll.....	1

Figurer

Figur 1 Illustration av moln på olika höjder.....	5
Figur 2 - Illustration av Nattlysande moln	6
Figur 3 - a) Felaktigt avsläpp av satellit b) Korrekt avsläpp av satellit	7
Figur 4 - a) illustration av LEO b) illustration av HEO	7
Figur 5 - Grafisk illustration av atmosfären. Källa: MATS Science. (n.d.). Hämtad februari 08, 2018, från https://www.misu.su.se/research/mats/mats-science	9
Figur 6 - Rendering av en tidig version av satelliten MATS. Källa: MATS Instrument. (n.d.). Hämtad februari 08, 2018, från https://www.misu.su.se/research/mats/instrument	10
Figur 7 - Vantablack på aluminiumfolie hämtad 2018-05-13 från http://www.scmp.com/news/world/article/1554903/vantablack-worlds-darkest-material-unveiled-uk-firm	12
Figur 8 - Bild på biblakestruktur. Hämtat 2018-05-13 från https://www.researchgate.net/figure/Honeycomb-structure-Honeycomb-structures-are-highly-laborious-in-manufacturing-and_fig3_316849097	13
Figur 9 - Tunn kolfiberstruktur. Hämtat 2018-05-18 från http://www.innovativecomposite.com/what-is-carbon-fiber/	13
Figur 10 - illustration av arbetsprocess	15
Figur 11 - illustration av arbetsprocess	21
Figur 12 - Bild på Sandra Säfdal, Ronnie Lindström, Anton Andersson, Erik Gunnarsson under ett besök hos Rymdstyrelsen.....	22
Figur 13 - Illustration av intressentanalys	28
Figur 14 - Funktionsanalys av Satelliten MATS.....	29
Figur 15 - Indelning av InnoSat	30
Figur 16 - Indelning av Solpanel.....	31
Figur 17 - Indelning av Övriga komponenter i instrumentet	31
Figur 18 - Indelning av Limbinstrumentet	32
Figur 19 - Indelning av Limbhus.....	32
Figur 20 - F.r vänster, verklig solcell, solcellsskoncept A, solcellsskoncept B, solcellsskoncept C och solcellsskoncept D	43
Figur 21 - Bild på prototypcell.....	44
Figur 22 – Illustration av Limbinstrumentets konceptval	46
Figur 23 - Prototyp av InnoSat med skala 1:3.....	48
Figur 24 - Rendering av plattformen InnoSat	48
Figur 25 - Rendering av inre komponenter i InnoSat.....	48
Figur 26 - Sammanställningsritning av InnoSat.....	49
Figur 27 - Vinklar fastskruvade på chassi.....	50
Figur 28 - Bild på skruvförband av ruta och chassi	50
Figur 29 - Rendering av skapad CAD-modell	51
Figur 30 - Skruvar som köptes löst	52
Figur 31 - akritect ASTVMA165	52
Figur 32 - Sammanställningsritning av Solcellspanel.....	53
Figur 33 - Limning av ramverk och panelens sida.....	54
Figur 34 - Förborrning för infästning.....	54
Figur 35 - limning av panelens andra sida	55
Figur 36 - Solpanelen monteras på InnoSat	55
Figur 37 - Rendering av solcellsserie med busbars.....	56
Figur 38 - Skivor som satts i press	57
Figur 39 - Basplattans profil ritad på plywoodskivorna.....	58
Figur 40 - D-sub för lödning från Kjell.....	60

Figur 41 - Indelning av Limbinstrumentet	60
Figur 42 - Ritad elkrets.....	61
Figur 43 - Resultat av elkrets	61
Figur 44 - Rendering med fokus på stödmoduler.....	62
Figur 45 - Dimensioner av expansionsbeslag. Hämtat 2018-05-13 från https://www.specialbeslag.se/expansionsbeslag	63
Figur 46 - Funktion av expansionsbeslag. Hämtat 2018-05-13 från https://www.specialbeslag.se/expansionsbeslag/expansionsbeslag	63

Tabeller

Tabell 1 <i>Kravspecifikation av InnoSat</i>	sida 33
Tabell 2 <i>Kravspecifikation av solpanel</i>	sida 34
Tabell 3 <i>Kravspecifikation av övriga komponenter i instrumentet</i>	sida 35
Tabell 4 <i>Kravspecifikation av limbhuset</i>	sida 36
Tabell 5 <i>Sollcelskoncept</i>	sida 40
Tabell 6 <i>Kesselringsmatris av InnoSat</i>	sida 42
Tabell 7 <i>Kesselringsmatris av Solcellskoncept</i>	sida 44
Tabell 8 <i>Kesselringsmatris av övriga komponenter i instrumentet</i>	sida 45
Tabell 9 <i>Kesselringsmatris av limbhuset</i>	sida 46
Tabell 10 <i>Lista på delar i figur 26</i>	sida 49

1. Inledning

Projektet *Bygga modell av Sveriges nästa satellit* syftar på ett kandidatarbete med fokus på att ta fram underlag till en presentationsmodell av satelliten MATS. Rapporten beskriver projektet i sin helhet och en eventuell fortsättning efter projektet. Det första avsnittet utgör en inledning av projektet där väsentlig bakgrundsinformation presenteras. Det följs av projektets syfte, mål, frågeställningar och avgränsningar som definierar projektets ramar. Vidare beskrivs projektets delar; teori, metodik, genomförande och resultat, diskussion samt slutsats. I slutet presenteras även framtida rekommendationer.

1.1 Bakgrund

Rymdindustrin är på framfart snabbare än någonsin tidigare, inte minst i Sverige. Det är känt att Kiruna är framgångsrikt inom rymdindustrin, men det är för många okänt att även Göteborg är ledande inom industrin. Just nu är MATS, Sveriges nästa satellit, under utveckling med planerad uppskjutning i slutet av år 2019. Forskningsprojektet MATS syfte är främst att undersöka ett fenomen som kallas nattlysande moln (eng. *Nuctilucent cloud*) (MISU, 2018). De kan ses på den annars becksvarta himlen under sommarnätter. Samtidigt är projektet ett pilotprojekt för en serie satelliter som ska använda samma plattform, vilken är konstruerad av det svenska företaget OHB Sweden. Projektet är även unikt ur en ekonomisk synvinkel då kostnaden ska uppgå till cirka 120 miljoner svenska kronor. (Gumbel, 2014) Odin som hade projektstart 1994, sköts upp 2001 och kostade i dagens värde ungefär 675 miljoner svenska kronor. (Rymdstyrelsen, 2018) (Friedman, 2017) Att klara av att skicka upp en satellit i rymden för en så pass mycket lägre summa är en stor utmaning. En sådan utmaning behöver utbildade, kompetenta forskare, ingenjörer och personer med extravaganta spetskompetenser.

Ole Martin Christensen från Stockholms universitet föreläser och informerar om MATS hos relaterade företag, universitet och forskningsinstitutioner. Det görs bland annat för att öka förståelse och för att väcka intresse för rymdforskning, främst hos blivande ingenjörer men även hos allmänheten. En presentationsmodell kan underlätta presentationen kring projektet MATS och därför önskas det byggas en sådan. I samarbete med studenter och anställda på Chalmers tekniska högskola, samt med anställda på företag relaterade till projektet MATS, ska en prototyp byggas av satelliten MATS utifrån krav. Planering av arbetsgången för framtagandet av prototypen presenteras i kommande avsnitt.

1.2 Syfte

Projektets främsta syfte är att undersöka och ta fram tillverkningsunderlag för en visuell prototyp som ska användas för en ökad förståelse för den svenska rymdindustrin samt som presentationsmaterial under föreläsningar, mässor och utställningar. Det genom metoder som genererar olika koncept utförs som sedan ställs mot krav som i förstudien definierats för att vidare ska sammanställas till en lösning som uppfyller funktionen avsedd av slutkund.

1.3 Mål

Uppgiften som ska utföras är att utforma och konstruera en modell av MATS, Sveriges nästa satellit. Modellen, som ska användas i utställnings- och utbildningssyfte, ska enligt anvisning vara skala 1:1 och i största möjliga mån vara representativ för den riktiga satelliten. Därefter är uppgiften att få en förståelse för satelliten och dess uppgift på detaljnivå för att sedan besluta om hur modellen ska utformas så att den på bästa sätt kan nå målet att skapa intresse

och förståelse hos målgruppen människor mellan 8–80 år. Det krävs därför att det avgörs vilka funktioner som ska prioriteras, visualiseras samt hur konstruktionen ska genomföras.

Uppdragsgivarens önskan och bakomliggande tanke med projektet är att inspirera framtidens rymdingenjörer och väcka ett större intresse för den svenska rymdindustrin. Uppgiften avser även att identifiera vilka behov uppdragsgivaren har på den fysiska produkten och att uppfylla dem med högsta möjliga resultat.

Ur huvudmålet med projektet har följande tre delmål identifierats:

1. Presentationer av satelliten MATS ska nå en mycket bred målgrupp.
2. Allmänheten bör göras mer medveten om omfattningen av Göteborgs rymdindustri.
3. Framtidens ingenjörer bör inspireras så att fler söker sig till branschen.

Nedan utvecklas delmålen med ytterligare beskrivningar samt förklaringar av hur dem konkretiseras i projektets uppgift.

1.3.1 Presentationer av satelliten MATS ska nå en mycket bred målgrupp

När satelliten MATS presenteras anser uppdragsgivaren att de presentationsverktyg som finns tillgängliga i dagsläget inte är tillräckliga för att nå ut till den bredare målgrupp som eftersträvas. Det material som finns idag är inte optimerat för presentation för den tänkta målgruppen. Uppdragsgivaren anser att en fysisk modell med lämpliga förtydliganden som betraktarna kan se, och förslagsvis interagera med, skulle vara ett användbart verktyg i sitt arbete.

Det blir därtill projektets uppgift att formge modellen så att den kan användas för att på ett enklare sätt beskriva den verkliga satellitens komplexa uppbyggnad samt dess forskningsuppdrag även för den utan tidigare kunskap eller utbildning inom området. Modellen behöver inte nödvändigtvis göra allt det på egen hand utan är tänkt att komplettera existerande verktyg. Konstruktionen måste även uppfylla uppdragsgivarens behov i form av vikt och hållfasthet för att transport till olika utställningar och evenemang inte ska förhindras.

1.3.2 Allmänheten bör göras mer medveten om omfattningen av Göteborgs rymdindustri

Många komponenter som kommer att användas i MATS är utvecklade i Göteborg och trots att Göteborg är en stad med en betydande rymdindustri så är det enligt uppdragsgivaren Kiruna som många tänker på när de hör om Sverige i rymden. Den bilden av svensk rymdindustri stämmer inte överens med verkligheten menar uppdragsgivaren.

1.3.3 Framtidens ingenjörer bör finna presentationen inspirerande så att fler söker sig till branschen

Det behövs fler ingenjörer i Sverige och världen. Om svensk rymdindustri ska kunna fortsätta att utvecklas kommer det i framtiden behövas kompetent personal inom området. Ett av uppdragsgivarens mål med uppvisning av satelliten och projektet för den yngre delen av målgruppen är att få dem intresserade för, och alternativt söka sig till utbildning inom, området.

Projektets uppgift att säkerställa modellens förmåga att väcka intresse hos de yngre kan bistå uppdragsgivaren i målet och fungera som ändamålsenligt verktyg för syftet. En förståelse måste fås för vad som tilltalar målgruppen och hur komplexa funktioner kan förenklas till en

nivå där de blir lättförstådda och intressanta utan att modellens informativa kvaliteter kompromissas.

1.4 Frågeställningar

Syftet med projektet är ta fram konstruktionsunderlag för och tillverka en prototyp av satelliten MATS för att hjälpa projektets beställare att uppfylla de mål som definierats i del 1.3. Projektgruppen ämnar ta reda på hur en modell tillverkas på bästa sätt för att uppfylla målen. Projektets förstudie och problemidentifiering har därmed som avsikt att ge svar på följande frågeställningar:

- Vilka är de främsta användningsområden för prototypen?
- Hur kommer slutkundens användning av prototypen se ut?
- Vilka funktioner är intressanta att illustrera med modellen?
- Vilka aspekter av projektet MATS väcker det intresse hos åskådare beställaren har som mål att skapa?
- Vad önskar projektets intressenter se hos modellen?

Med förstudiens facit kan projektgruppen beskriva vad som krävs och förväntas av den tänka prototypen. Tillsammans med ovanstående frågor kan ytterligare frågeställningar, utifrån ett tillverknings tekniskt perspektiv, formuleras.

- Vilka tillverkningsmetoder, materialval, kompetenser och resurser är bäst lämpade för att tillverka prototypen?
- Vilka lösningar på prototypen uppfyller slutkundens behov bäst och vilka metoder krävs för lösningarna?

1.5 Avgränsningar

Projektet avgränsas till att undersöka, konstruera och tillverka en prototyp samt ta fram tillräckligt med dokumentation för att en extern part ska kunna tillverka en slutprodukt. Arbetet kommer därmed ställas mot en stor mängd krav och behov som kommer avgränsa prototypen i mån av material och tillverkningsprocesser. Under projektet kommer lösningsförslag göras med antagandet att tillverkare har tillgång till de verktyg för bearbetning av trä som finns i de verkstäder som används i projektet. Det förutsätts också att tillverkaren har eller kan få tillgång till 3D-skrivare och laserskärare då det anses rimligt att en seriös modellverkstad skulle äga de här eller ha budget att betala för en tjänst där de används.

Slutprodukten är tänkt att användas i Sverige och därför utförs studier endast på svenska invånare och information ges på svenska eller engelska vid behov.

Slutprodukten kommer inte heller följas upp för eventuell redesign, då projektet avslutas till sommaren. De avgränsningar som oftast tas generellt i produktionsprojekt är de ekonomiska och tidsmässiga gränserna, då de är två av huvudfaktorerna inom produktion, kommer även tas i det här arbetet. Arbetet utförs på totalt 17 veckor halvtidsfart med cirka 4 veckor för planering och uppstart.

Ytterligare avgränsningar gjordes utifrån de eventuella problem som uppstod under processens gång. På grund av de tidsmässiga avgränsningarna bestämdes det under projektets gång att koncept för material runt projektets huvuduppdrag inte kunde göras. Det beslöts också att ej beröra den del som förbinder satelliten med raketten vid uppskjutning då den var hemligstämplad och en design av den därför inte skulle vara möjlig att validera.

2. Teori om rymden och satelliter

En djupare förståelse för rymden och satelliter gör att vissa begrepp i rapporten blir lättare att förstå. I följande avsnitt finns Generell teori om rymden som följs av teori om de fenomen som MATS ska studera, generell teori om satelliter och dess uppbyggnad, historia och teori om satelliten MATS.

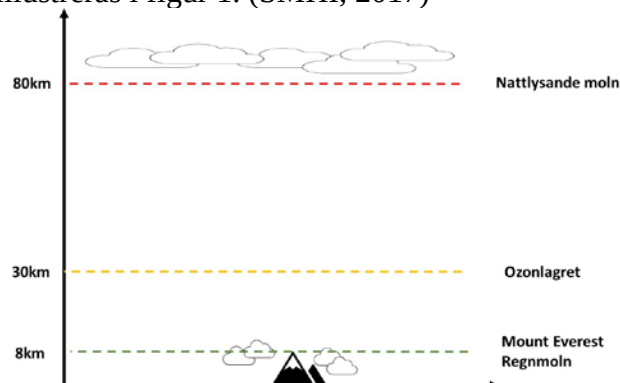
2.1 Generell teori om rymden

Utanför jordens atmosfär, 100 km ovanför havsytan, går Karmanlinjen som definierar gränsen mellan jordens atmosfär och yttre rymden. Utanför jordens atmosfär finns det ingen luft så hit kan bara föremål som färdas med raketer ta sig. Andra färdmedel såsom ballonger eller flygplan behöver luften för att kunna flyga. Avsaknaden av luft innebär även att det lufttryck på 101,3 kPa som råder vid jordens havsytan inte finns i rymden. Det krävs mycket avancerad teknologi och kunskap om rymdens miljö om någonting skall fungera i sådana extrema förhållanden. Liksom jorden snurrar runt solen och månen snurrar runt jorden har människan sänt upp egna farkoster, satelliter, som ligger i omloppsbana kring olika himlakroppar. Mellan 160 och 2000 kilometer ovanför havsytan ligger den lägsta omloppsbanan runt jorden, låg omloppsbana (eng. *low earth orbit*) eller LEO. Det finns satelliter på olika avstånd från cirka 160 kilometer från havsytan upp till satelliten Voyager 1 som 2015 rest till ett avstånd av cirka 20 miljarder kilometer sedan den lämnade jorden 1977 och är den första farkosten att lämna jordens solsystem. Trots att Voyager 1 är den farkost som är längst från jorden kommer det krävas ytterligare 40 000 år för att den skall komma inom ett avstånd på 1,6 ljusår till en annan stjärna. (Séguéla, 2011)

Genom att skicka upp satelliter i rymden kan forskning göras för att ta reda på mer om universum och olika fenomen. Forskning av fenomen som uppstår på jorden används bland annat för att få en större kunskap om den planeten människan bor på, hur människan påverkar planeten och hur planeten påverkar människan. (ESA, 2018)

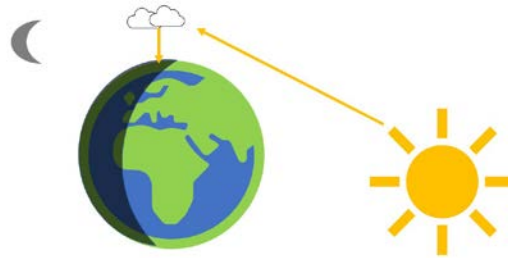
2.1.1 Nattlysende Moln

Två år efter ett vulkanutbrott i Indonesien år 1883 kunde den engelska astronomen T. W. Backhouse observera att vissa moln lyste över England trots att solen gått ned. Fenomenet, som skulle kallas nattlysende moln eller *NCL*, uppkom till följd av att partiklar från vulkanutbrottet stannade kvar i atmosfären på en höjd av 80–100 km och bildade moln. (Illustrerad Vetenskap, 2009) Det kan jämföras med att vanliga regnmoln bildas på en höjd av cirka 2–10 km, som illustreras i figur 1. (SMHI, 2017)



Figur 1 Illustration av moln på olika höjder

Att molnen lyser beror på att de ligger på en sådan höjd att de reflekterar solens ljus även när solen gått ned, se figur 2. Molnen kan ses med blotta ögat från maj till augusti på latituder av 50 till 65 grader när solen gått ned vilket illustreras i figur 2. (SMHI, 2017)



Figur 2 - Illustration av Nattlysande moln

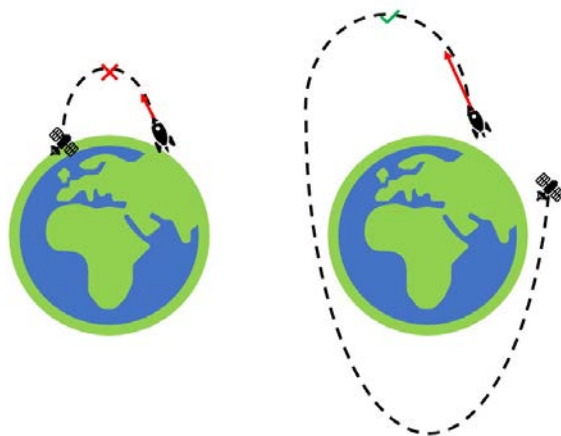
De nattlysande molnen försvann inte efter 1885 och det finns teorier om att det kan kopplas till de metangaser som släpptes ut i atmosfären under industriella revolutionen. Att studera nattlysande moln kan ge kunskap om jordens atmosfär och om hur olika utsläpp påverkar klimatet. (Illustrerad Vetenskap, 2009)

2.1.2 Atmosfärvågor

Precis som för vågor i havet så kan vågor i atmosfären skapas av en mängd olika anledningar fortplanta sig över stora avstånd och starkt påverka lokala förhållanden. Mesosfären befinner sig på 50 till 100 km över havet och betraktas ofta som den transitionella zonen i atmosfären mellan jorden och Karmanlinjen. Atmosfäriska vågor som initieras vid den lägre delen av atmosfären kan när de når mesosfären växa till stora amplituder och starkt påverka allt från globala vindmönster till lokala temperaturer. (MISU, 2018)

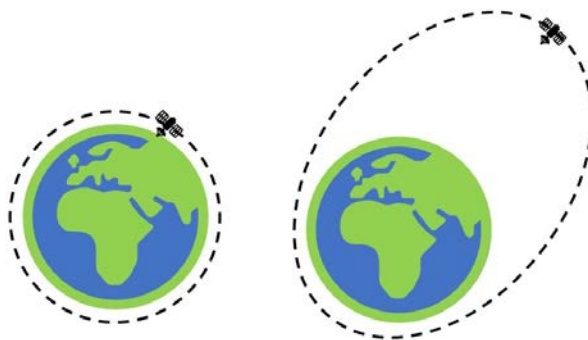
2.2 Generell teori om satelliter

En satellit är en farkost som roterar kring en himlakropp och som antingen används i forskningssyfte eller till praktiska nödvändigheter (Séguéla, 2011). Satelliter finns i många olika storlekar från under ett kilo upp till rymdstationen International Space Station som väger 391 000 kilogram (Space.com, 2018). Månar räknas också som satelliter eftersom att även dem roterar kring en större himlakropp. De brukar benämnas som naturliga satelliter och satelliter skapade av människan brukar benämnas som artificiella (Séguéla, 2011). Om en satellit ska kunna fungera behöver den bli påverkad av en centripetalkraft. För satelliter som roterar kring jorden innebär det gravitationskraften. Det krävs även att inget luftmotstånd förekommer då det skulle saktar ned satelliten och få den att falla ned i atmosfären. En satellits rotation kan beskrivas som att den ständigt faller. Eftersom att jorden är rund påverkar gravitationskraften på ett sådant sätt så att satelliten hela tiden faller mot jorden men missar den. Att satelliten släpps på precis rätt höjd och i rätt hastighet är därför avgörande för om den hamnar i omloppsbana eller inte. (Swinerd, 2009)



Figur 3 - a) Felaktigt avsläpp av satellit b) Korrekt avsläpp av satellit

Figur 3a ovan illustrerar en raket som inte släpper satelliten på rätt höjd, vilket får satelliten att falla ned i atmosfären igen. Figur 3b illustrerar en satellit som släpps på rätt höjd, faller mot jorden men missar den och hamnar därför i en omloppsbanan istället (Séguéla, 2011). Satellitens styrraketer används när omloppsbanans vinkel och höjd ska justeras. Alla satelliter har dock inte styrraketer eller har bara tillräckligt med bränsle för att justera banan precis tillräckligt mycket för att nå den önskade omloppsbanan. (Swinerd, 2009)



Figur 4 - a) illustration av LEO b) illustration av HEO

Figur X illustrerar en cirkulär låg omloppsbanan. I den här typen av omloppsbanan ligger bland annat rymdstationen ISS på 400 kilometer från havsytan. Figur 4b illustrerar en elliptisk hög omloppsbanan (*eng. high earth orbit*). En elliptisk bana kan användas för farkoster som ska till en annan planet genom att utnyttja gravitationen för att få en så hög hastighet som möjligt. Hohmannbanan (*eng. The Hohmann Trajectory*) är en typ av en sådan omloppsbanan. Med en Hohmannbana tar det fem dagar att överföra en farkost från en låg omloppsbanan runt jorden till en omloppsbanan runt månen (Séguéla, 2011). Förutom olika höjd och form på banorna kan en satellit rotera en viss lutning runt jorden. En lutning på 0 grader betyder att satelliten roterar kring ekvatorn. Har satelliten dessutom en höjd på 35 790 kilometer ligger den i en geostationär bana, vilket innebär att den ständigt följer jordens rotation över samma punkt. Den geostationära banan används av telekommunikations- och väderlekssatelliter. Det finns även en polär omloppsbanan där satelliten roterar kring polerna. Polär omloppsbanan används av bland annat spionsatelliter eftersom att hela jordens yta kan täckas med en polär bana. En solsynkron bana är en bana som oftast används av fotosatelliter. I den banan kan en satellit vinklas så att den kan fotografera med samma vinkel mot solen över hela planeten. Det medför att samma skuggning fås på alla bilder. (Swinerd, 2009)

2.2.1 Uppbyggnad

En satellit består av fyra huvuddelar: ett instrument som ska samla in information eller utföra en viss uppgift, en antenn för att kunna ta emot och skicka information till jorden, ett styrsystem som till exempel ett reaktionshjul eller styrraketer och ett system som förser satelliten med energi. Energin kan komma både från kärnkraft eller elektricitet och det är vanligt att satelliter har en eller flera solpaneler. (Howell, 2017)

2.2.2. Historia och olika sorters projekt

Det allra första föremålet tillverkat av människor som sändes upp i omloppsbana runt jorden var den sovjetiska satelliten Sputnik 1. Det var år 1957, under kalla kriget, och det hade en stor inverkan på hur rymdforskningen tog fart under mitten av 1900-talet. (Séguéla, 2011)

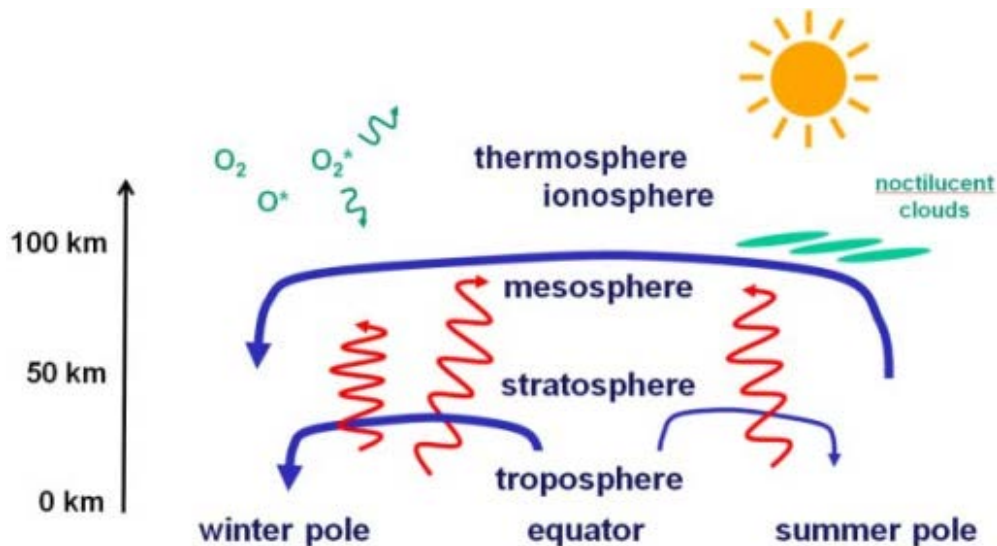
Redan år 1961 genomfördes den första svenska raketuppskjutningen och sedan dess har Sverige gjort avtryck i rymdindustrin. Sverige har haft egna satelliter men även samarbete mellan ett eller flera länder. Totalt har Sverige sedan 1986 skickat upp 15 satelliter av vilka fyra fortfarande är används. Den första av Sveriges satelliter, Viking, var ämnad för att studera uppkomsten av norrsken. Viking mätte elektriska och magnetiska fält samt partiklar, plasma och vågor. Kommande svenska satelliter såsom Freja, Astrid 1 och 2 och Odin skulle, precis som Viking, på ett eller annat sätt komma att studera Jordens atmosfär och det var först 2010 i och med satelliten Prisma som ett helt annat område skulle studeras. Prisma består av två olika farkoster, Mango och Tango. Målet med projektet var att forska om ny teknologi inom formationsflygning och så kallad rendez-vous teknologi som innebär att satelliterna kan kommunicera och interagera med varandra. Prisma är den senaste satelliten innan MATS som är finansierad av rymdstyrelsen. (Thelander, 2007)

2.3 MATS

Följande avsnitt beskriver projektet MATS, hur satelliten MATS fungerar samt mer ingående information om satellitens olika komponenter.

2.3.1 Projektet MATS

MATS, Mesosfärisk Luftglödstopografi och spektrografi (eng. *Mesospheric Airglow/Aerosol Tomography and Spectroscopy*), är ett aktuellt satellituppdrag som har som mål att studera atmosfäriska vågor i mesosfären. I nuvarande existerande modeller är möjligheten att förutse framtida förändringar begränsad. En bättre förståelse för mesosfären ger en bättre förståelse för atmosfären som helhet vilket är vad som slutligen önskas uppnås med projektet MATS. (MISU, 2018)



Figur 5 - Grafisk illustration av atmosfären. Källa: MATS Science. (n.d.). Hämtad februari 08, 2018, från <https://www.misu.su.se/research/mats/mats-science>

Vågorna ska studeras genom två olika metoder, som båda utnyttjar optiska fenomen vilka är specifika för mesosfären. Den primära metoden som används i MATS är att mäta samt observera ett svagt ljussken på natthimlen som heter luftglöd (eng. *Airglow*), vilket uppstår då syremolekyler i atmosfären avger ett infrarött ljus. Den sekundära metoden som används är att observera ljus spritt av aerosola partiklar i form av nattlysande moln, molnen högst upp i atmosfären som kan sträcka sig upp mot höjden 80 kilometer över havet, se figur 5.

Fenomenet observeras delvis genom tomografi, det vill säga genom att observera mesosfären från många olika vinklar vilket leder till att en tredimensionell bild kan rekonstrueras.

Tomografi kan också kombineras med spektrografi. Genom att analysera det uppmätta ljuset vid olika våglängder så blir det möjligt att forma slutsatser angående till exempel atmosfärens temperatur, dess komposition eller molnens egenskaper. Därmed kommer MATS möjliggöra adressering av en stor mängd frågor angående mesosfären samt skapa en global kartläggning av de atmosfäriska vågorna i alla spatiala dimensioner. MATS var ursprungligen planerad till att skjutas upp år 2017 men uppskjutningen har flyttats till år 2019 på grund av försenade inköpta delar från Storbritannien. Projektet MATS leds av forskare vid Stockholms universitet som i sin tur jobbar på uppdrag av Rymdstyrelsens utveckling av InnoSat rymdfarkost-koncept. Satelliten MATS är planerad till att cirkulera 600 kilometer över jordens yta i två år till dess att den slutligen återvänder genom att brinna upp i atmosfären. (MISU, 2018)

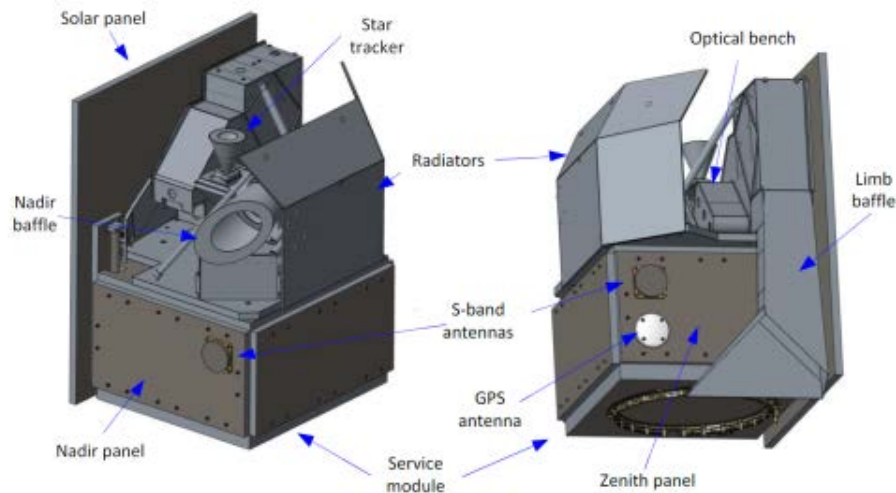
2.3.2 Satelliten MATS

Projektet MATS möjliggörs genom uppskjutandet av satelliten MATS. En av grundidéerna med MATS är att den ska konstrueras, vara högpresterande med låg budget och hög tidspress, på hemmaplan i Sverige. MATS är en så kallad mikrosatellit på 50 kilogram som kommer att hålla en solsynkron bana vilket innebär att samtliga platser den passerar över jorden kommer att ha samma lokal tid. Satelliten består av en instrumentdel, *Instrumentet*, och av en plattform, *InnoSat*, samtliga delar illustrerade i figur 6. (MISU, 2018)

2.3.2.1 Instrumentet

Satelliten har två instrument; Limbinstrumentet (eng. *Limb imager*) och Nadirinstrumentet (eng. *Nadir imager*), som används för att observera luftglöd och nattlysande moln. Det görs genom att avbilda kanten på jordens atmosfär vid sex olika våglängder; två i UV-ljus och fyra i IR-ljus. UV-våglängderna ger information om mindre strukturer genom solljus som spridits ut av nattlysande moln, medan IR-våglängderna ger information om större strukturer samt

atmosfäriska temperaturer genom att mäta ljuset orsakat av emissionen från fotokemiskt exciterade syremolekyler. (MISU, 2018) En fotometer används för att mäta material och ytors optiska egenskaper, det vill säga hur de interagerar med ljus. (Boyes, 2010)



Figur 6 - Rendering av en tidig version av satelliten MATS. Källa: MATS Instrument. (n.d.). Hämtad februari 08, 2018, från <https://www.misu.su.se/research/mats/instrument>

I Limbinstrumentet görs avbildningen av atmosfärens kant med hjälp av ett av-axel trespegelsteleskop (eng. *off-axis 3 mirror-telescope*) baserat på friformsspeglar (eng. *free-form-mirrors*). Atmosfärens kant avbildas på 6 CCD-kanaler där separationen av våglängderna erhålls genom en kombination av dikroiska stråldelare samt smalbandsfilter. Vad avbildningen är baserad på är avancerade CCD-sensorer med avläsningselektronik som möjliggör en flexibel pixelbinning, vilket innebär att närliggande pixlar slås ihop till tydligare sådana, samt bildprocessering. Teleskopoptiken och den inbyggda instrumentinställningen är väldigt noggrant konstruerade för att minimera uppkomsten av oönskat ljus (eng. *stray light*). Det som är särskilt viktigt är utformningen på Limbbaffeln som optimeras genom att utnyttja hela den tillgängliga längden på InnoSat-plattformen. (MISU, 2018)

En CCD-sensor (eng. Charge-Coupled Device), på svenska kallad laddningskopplad enhet, är en typ av elektronisk halvledarbricka etsad på en silikonyta vilket formar ljuskänsliga partiklar kallat pixlar. Fotoner som träffar den här ytan genererar en elektrisk laddning som kan avläsas av elektronik och omvandlas i ett signalbehandlingssystem till en digital version av ljuset som träffat. På Limbinstrumentet sitter även en Stjärnkamera, vilken används för navigering. (Spectral Instruments, 2013)

Nadirinstrumentet tar bilder av emissioner från det atmosfäriska bandet under satelliten. Det ger komplementär information på mindre rumsliga skalor, vilket innebär att den är begränsad till en endaste spektralkanal. Nadirinstrumentet kan liknas vid en vidvinkelkamera, som har en mycket enklare lins än Limbinstrumentet. Den samlar in data via en rad i taget och täcker ett horisontellt avstånd på 300 km svängbredd. (MISU, 2018)

En OBC, Omborddator (eng. On-Board Computer), kontrollerar satellitens elektronik och det är även där satellitens programvara körs (eng. On-Board Software). Datorn hanterar satellitens kritiska funktioner som exempelvis kontroll av altitud och omloppsbana, fjärrstyrning och feldetektering. I arbetet refereras den rektangulära lådan i vilken instrumentets OBC finns till som OBC-Låda. (ESA, 2018)

På instrumentet finns två stycken radiatorer, den inbuktande Radiatorn och den platta OBC-Radiatorn, vilket har fått sitt namn då den sitter i anslutning till omborddatorn på instrumentet. Radiatorer är värmeledare som används för att leda termisk energi med syftet att antingen värma upp eller att kyla ned ett objekt. Inom rymdteknik brukar radiatorer hamna under kategorin Termisk kontroll. Termisk kontroll är vad som tillåter att en satellits temperatur håller sig inom ett visst intervall, vilket är viktigt eftersom att all elektronik har ett temperaturintervall där de ger högst prestanda. Många komponenters livstider reduceras dessutom av kontinuerligt höga temperaturer, och stora temperaturskillnader i en satellit kan deformera känsliga optiska instrument (ESA, 2018). En stor del av värmeledet som kommer från solen blockeras med hjälp av ett material kallat MLI, flerlayersisolering (eng. Multi-Layered Insulation). Innan MATS skickas upp i rymden täcks hela satelliten med MLI och eftersom att MLI ofta är guldfärgat kan satelliter ibland se ut som att de är täckta med guldfolie. (Kang, 2007) MLI är ett material som, likt namnet antyder, består av flera lager av material. Eftersom att det inte finns någon luft i rymden som leder värme kan värme från omgivningen bara ledas till en satellit genom strålning. MLI isolerar effektivt genom att ett nät som avdelar två lager material hindrar att värme leds mellan materialen. Effektiviteten av materialet kan ökas genom att öka antalet lager (Aerospace Fabrication, 2018).

2.3.2.2 InnoSat

När linser, speglar, kameror och sensorer är monterade tar OHB Sweden AB över och sammankopplar instrumenten med plattformen InnoSat. InnoSat är konstruerad för att kunna användas till olika instrument. Instrument som skall sitta på InnoSat skall konstrueras efter plattformen. InnoSat är utvecklad för att kunna bära maximalt med last på den volym en satellit får vara när den åker så kallad *piggyback*. Piggyback är när en satellit åker med på en raket vars huvudlast är en annan satellit. Genom att fylla en raket med flera satelliter kan kostnaden delas mellan aktörerna och en uppskjutning som i andra fall hade varit utanför budget för vissa projekt blir möjlig. Som mest har 104 satelliter blivit uppskjutna på samma raket. (JAXA, 2003)

InnoSat består av en låda kallad servicemodulen som är tillverkad helt i aluminium och fungerar som ett chassi där majoriteten av dess komponenter är benägna. På insidan sitter komponenter som *reaktionshjul* och *magnetorquers* vilka styr satelliten. Reaktionshjul är en typ av styrmedel som används av rymdfarkoster och används främst för attitudkontroll av farkosten utan att använda bränsle (The Economic Times, 2018). I satelliten MATS finns tre stycken reaktionshjul, och styrningen sker med villkoret att om hjulet spinner åt ena hållet så snurrar satelliten åt andra hållet. Magnetorquers är elektromagneter och i InnoSat används tre sådana som har spolar i vilka ström kan ledas. Med hjälp av mätning av jordmagnetfältet av en magnetometer så går det sedan att veta i vilken spole i magnetorquers som ström ska ledas för att passivt, icke mekaniskt, kunna styra satelliten. (Wang & Shtessel, 2004)

På insidan sitter även GPS-mottagare och antenner som är nödvändiga för att kommunikation ska fungera. Elektriciteten i satelliten genereras av en solpanel som är sammankopplad med InnoSat, och panelen är tillverkad som en smörgåspanel (eng. *Sandwich panel*) med en bikakestruktur. Elektriciteten regleras av en MPCD, Modulär processering och kontroll & displayenhet (eng. *Modular Processing and Control & Display Unit*), vilket är den centrala delen i satellitens kraftsystem. Den tar emot strömmen genererad av satellitens solpanel och fördelar strömförsörjningen till satellitens enheter samt till dess batteri.

2.3.2.3 VantaBlack

En färg kallad VantaBlack används i satelliten, där Vanta står för Vertikalt Anpassade Nanorör Uppställning (eng. *Vertically Aligned NanoTube Arrays*). Färgen är till synes svart och är världens mörkaste färg. Den är användbar för att det är ett material som kan absorbera upp till 99,965 procent av inkommande strålning, vilket innefattar allt synligt ljus samt andra vanliga frekvenser som inte kan ses med blotta ögat, exempelvis mikrovågor och radiovågor. Nanorören, som färgen består av, är åtskilda och fungerar genom att ljuset som träffar materialet hamnar mellan rören vilket leder till att det studsar runt tills det har absorberats och omvandlats till värme. På grund av egenskaperna i Vantablack så avbildas samtliga objekt vars ljus har träffat materialet i tvådimensionellt, alla tredimensionella egenskaper hos materialen suddas ut. (Colourlex, 2018) Även om materialet manipuleras genom till exempel böjning så kommer det att se helt platt ut, se figur 7.



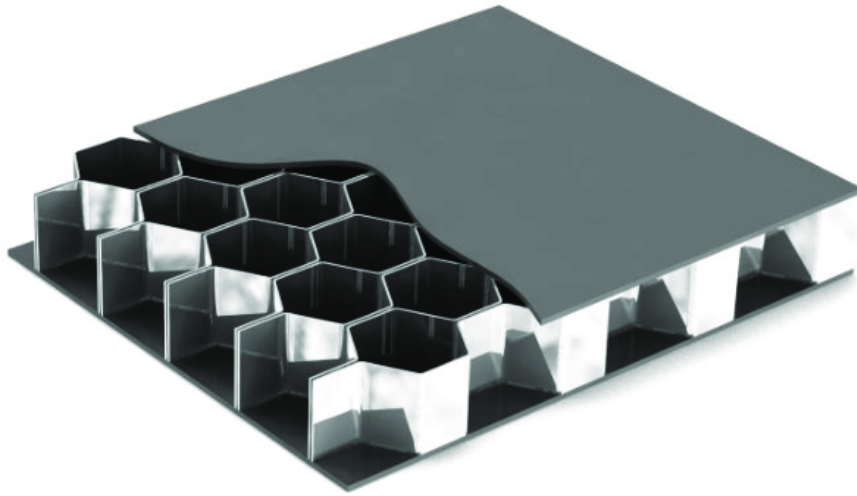
Figur 7 - Vantablack på aluminiumfolie hämtad 2018-05-13 från <http://www.scmp.com/news/world/article/1554903/vantablack-worlds-darkest-material-unveiled-uk-firm>

Vantablacks användningsområden är främst inom rymd- och försvarssektorerna. Känsligheten i instrumenten förbättras med användning av materialet på grund av absorptionen av ljus är det ett effektivt sätt att hålla borta ströljus från känsliga instrument. Det kan också förbättra möjligheten att se de mest avlägsna objekten i rymden. (Surrey nanosystems, 2014)

2.3.2.4 Bikakestruktur

Bikakestruktur (eng. *Honeycomb structure*) används som förstärkning på flertalet delar i satelliten MATS, bland annat på Limbinstrumentet och på radiatorerna. Förutom att det tillåter en optimering av mängden material så fungerar det även som spänningsdelare, vilket gör att spänningen sprids ut och satelliten kan utstå högre spänningar. Bikakestrukturer kan antingen förekomma naturligt eller så kan de vara mänskligt konstruerade. Det senare används inom en mängd industrier, men främst inom flyg- och rymdteknik. Fördelen med strukturerna är att de tillåter en optimering av mängden material som används för att nå en minimivikt och minimikostnad för material. (Continental Steel & Tube Company,

2018) Geometrin kan variera från olika strukturer men en vanlig funktion för samtliga sådana strukturer är ett utbud av ihåliga celler formade mellan tunna vertikala väggar, (Azo Materials, 2018) se figur 8.



Figur 8 - Bild på bikakestruktur. Hämtat 2018-05-13 från https://www.researchgate.net/figure/Honeycomb-structure-Honeycomb-structures-are-highly-laborious-in-manufacturing-and_fig3_316849097

2.3.2.5 Kolfiber

Ett antal delar av de delar på satelliten med särskilt höga krav på styvhet tillverkas i kolfiber. Kolfiber är en polymer som är ett slitstarkt material och samtidigt väldigt lätt. Det är fem gånger starkare än stål samtidigt som det är lättare, vilket gör det till ett idealt tillverkningsmaterial för många delar. Kolfiber är gjord av tunna, starka kristallina fibrer av kol, se figur 9, som används för att stärka material. Det kan vara tunnare än en människas hårstrå och får sin styrka då det vrids samman likt ett garn. Förutom att vara starkt har det bland annat egenskapen att tåla hög termisk belastning och expanderar väldigt lite. Det gör kolfiber ett lämpligt material för användning i satelliter och är anledningen till att det är ett vanligt material i rymdindustrin. De större komponenter på MATS som består av kolfiber är framförallt kolfiberstagen som stadgar upp radiatorerna och de båda ytpanelerna (eng. *Facesheets*) på solpanelen. (ICE, 2018)

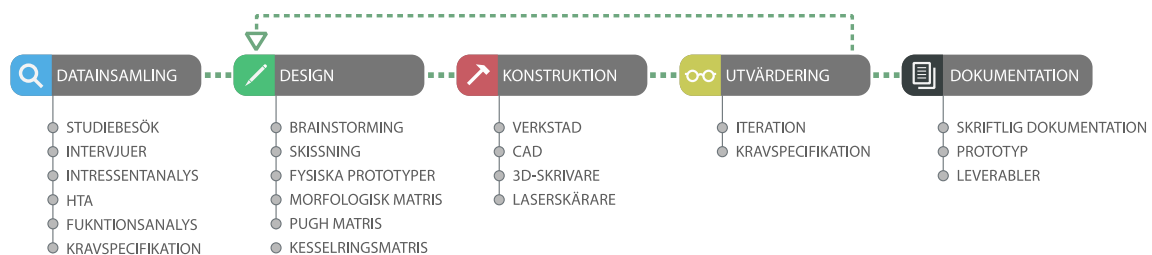


Figur 9 - Tunn kolfiberstruktur. Hämtat 2018-05-18 från <http://www.innovativecomposite.com/what-is-carbon-fiber/>

3. Metodöversikt

I följande avsnitt presenteras projektets arbetsprocess och processens alla faser. För varje fas finns det metoder och tekniker som projektgruppen använde för att få fram det resultat projektet var ämnat för. Alla metoder och tekniker beskrivs i avsnittet för att läsaren ska förstå hur metoderna utförts och till vilket syfte.

Projektets arbetsprocess innehåller fem faser; *Datainsamlings-, Design-, Konstruktions-, Utvärderings-, och Dokumentationsfasen*. De utgör projektet i stort och innehåller delmål och aktiviteter för respektive fas. Utöver faserna så kommer rapportskrivande vara en överliggande aktivitet som genomgår hela projektets gång. Allt illustreras med följande figur 10.



Figur 10 - illustration av arbetsprocess

3.1 Datainsamling

Syftet med förstudie var hitta problembilden för projektet. Metoder för att identifiera problem till att utforma behov och krav beskrivs nedan. Det följs av verktyg som används för att definiera olika koncept som slutligen leder till ett slutkoncept.

3.1.1 Studiebesök

Utförande av studiebesök är fördelaktigt när information är svårtillgänglig, till exempel om information är under sekretess eller enbart delas mellan interna samt externa intressenter men inte yttre externa intressenter (eng. *rest of the world stakeholders*) (Maylor, 2010).

Studiebesök kan kombineras med intervjuer och fältstudier då det kan anses naturligt att de sker samtidigt.

3.1.2 Intervjuer

Intervjuer kan vara ett effektivt sätt att samla information kring ett projekt. Intervjuer delas upp i tre olika typer; strukturerade, semi-strukturerade och ostrukturerade intervjuer. Strukturerade intervjuer består av förberedda och relativt riktade frågor där intervjupersonen sällan behöver utveckla sina svar. Ostrukturerade intervjuer innehåller öppna frågor, där intervjupersonen uppmanas till att svara fritt. Semi-strukturerade intervjuer är ett mellanting där båda sorters frågor förekommer. Valet av intervjutyp baseras på vilken sorts data som är önskvärd, där strukturerade intervjuer genererar främst kvantitativa data, ostrukturerade intervjuer genererar främst kvalitativa data och där semi-strukturerade intervjuer genererar båda två. (Wikberg Nilsson, Ericson, & Törlind, 2015)

3.1.3 Intressentanalys

Intressenter behöver specificeras för att ta reda på vilka aktörer som potentiellt har krav på slutprodukten och för att kunna specificera behov och krav. Det görs genom en intressentanalys (eng. *Stakeholder Analysis*) som kan liknas vid en tankekartan (eng. *mind map*) där aktörer grafiskt representeras (Schmeer, 2018). Intressentanalys är en metod för att få en översikt om vilka aktörer och intressenter som är relaterade till projektet. Vid grundlig

analys kan även faktorer som prioritering, inverkan och betydelse viktas för att ge en tydligare bild kring projektet. I specifika projekt, till exempel forskningsprojekt, kan det vara mycket information som förändras hos de interna intressenterna som inte förs vidare till de externa och yttre externa intressenterna. Därav är det viktigt att identifiera vilka intressenter som är viktigast för projektet. (Wikberg Nilsson, Ericson, & Törlind, 2015)

3.1.4 HTA

HTA, Hierarkisk Uppgiftsanalys (eng. *Hierarchy Task Analysis*) är en metod för att få en överblick över hur ett systems funktioner är ordnat. Uppgiftsanalysens process går ut på att bryta ned uppgifter och/eller funktioner till önskad detaljnivå genom att först identifiera ett mål som kan delas upp i delmål. Genom empiriska metoder som fältstudier, intervjuer och observationer. En Hierarkisk Uppgiftsanalys visualiseras lämpligast genom ett schematiskt trädidiagram. (Hollnagel, 2003)

3.1.5 Funktionsanalys

En funktionsanalys går ut på att analysera produktens krav och önskemål som funktioner snarare än lösningar. Genom att analysera vilken huvudfunktion produkten har för att sedan dela upp den i delfunktioner. På så sätt kan det skapas flera lösningar för samma funktion och lösningarna kan sedan kombineras på många olika sätt till exempel genom en morfologisk matris. (Lindstedt & Burenius, 2006)

3.1.6 Krav- & designspecifikation

Som avslut på datainsamlingsfasen så analyseras all data för att komprimeras till krav. Kraven definieras utifrån empiriska metodens data och vilka funktionella krav som ställs på produkten. Här listas inte enbart handgripliga egenskaper utav typen *rörligt lock*, utan även funktioner som *erbjuda och visa handgrepp* och *inge stabilitet*. Målet med specifikationerna är skapa en formell dokumentation av produktens förväntningar och vad den ska klara av. (Österlin, 2007)

3.2 Designfas

Utifrån en förstudie så identifieras problembilden. Problembilden, genom metoder som beskrevs i föregående del, genererar krav som sätter ramarna för nästa steg, designfasen. Metoder som brainstorming, skissning, Morfologisk-, Pugh- och Kesselringsmatris, samtliga beskrivna nedan, kommer vara kärnmetoderna för att ta fram olika koncept som sedan fusioneras till ett koncept.

3.2.1 Brainstorming

Metoden brainstorming används för att på ett tidseffektivt sätt generera många idéer och lösningar på problem. En koordinator som uppger ett problem till en sammansatt grupp som under en kortare tid ska tänka, skissa och skriva ner lösningar. Allt diskuteras sedan för att kunna kombineras till nya kreativa idéer. Axel F. Osborn utvecklade metoden och satte upp följande fyra grundregler för att metoden inte skulle bli för diffus:

1. Nolltolerans mot kritik - Inga idéer ska kritiseras under processen, det hämmar kreativiteten
2. Tänk gallet - Begränsa inte tankarna, även det hämmar kreativiteten
3. 1+1=3 - Vidareutveckla varandras idéer för att maximera antalet olika lösningar och idéer

4. Kvantitet framför kvalitet - Ju fler idéer och lösningar, desto större chans till att lösa uppgiften
(Wikberg Nilsson, Ericson, & Törlind, 2015)

Harvey Maylor har lagt till ytterligare tre regler för att effektivisera metoden.

1. Alla idéer måste skrivas ned
 2. Börja varje session med en isbrytande övning för att få igång tankeflödet och få deltagarna att känna sig bekväma
 3. Ge deltagarna chansen att tänka på problemet innan en session
- (Maylor, 2010)

3.2.2 Skissning

Skissning är ett verktyg för att snabbt få ner tankar och idéer på papper. Skisser är allt från förklarande streck dragna på ett papper, kvantitativa miniatyrbilder (*eng. thumbnails*), till detaljrika renderingar. Skissning används för att undersöka en forms uttryck och genomarbetade renderingar med hög detaljrikedom för att presentera en slutprodukt i konceptfas. (Lawsson, 2005) Att skissa kan även användas som en form av idégenerering för att lösa ett visst problem, förfinas och vidareutveckla koncept. Genom att skissa kan sämre idéer kasseras innan de har blivit för stora och kostsamma. Det är inte bundet till en viss fas utan kan användas när som helst under projektets gång (Österlin, 2007)

3.2.3 Fysiska prototyper

Fysiska modeller kan ha en varierande grad av detaljnivå och finish beroende på vilket syfte de ska användas för. Till snabba visualiseringar och iterativa tester av lösningsförslag kan enklare modeller användas. De stämmer i en utvald aspekt, till exempel vikt, väl överens med verkligheten medan modellen i övrigt görs så enkelt och billigt som möjligt för att konservera resurser. De enkla modellerna kan vara av stor nytta tidigt i projektet och kan sedan ersättas av mer kompletta *mock-up* modeller. De är skalenliga men också ofta konstruerade för att testa koncept på en viss funktion som i *mock-up* modellen fungerar likt den är tänkt i den färdiga produkten. De så kallade funktionsmodeller lämpar sig väl till användningstester för att testa produktens ergonomi i förhållande till människokroppen, produktens kognitiva uttryck och av upplevelser vid användning. Slutligen kan presentationsmodeller med en högre detaljnivå tillverkas för att illustrera ett färdigt koncept och fungera som visuellt stöd vid en presentation. (Wikberg Nilsson, Ericson, & Törlind, 2015)

3.2.4. Morfologisk matris

Morfologisk matris syftar på en matris som används till att generera olika koncept och delkoncept utifrån tidigare genererade idéer och lösningar på problem. Ett produktutvecklingsprojekt kan oftast delas upp i olika delfunktioner. Till exempel att cykla kan delas upp i att erbjuda sittställning, erbjuda styrmöjlighet och så vidare (Österlin, 2007). Varje delfunktion placeras i en kolumn, i vertikalled. Alla potentiella lösningar, idéer och koncept placeras då i horisontellt led i respektive delfunktion. Matrisen kan då användas för att kombinera olika lösningar till flera koncept. Det finns varianter och olika versioner på hur en Morfologisk matris kan användas. (Wikberg Nilsson, Ericson, & Törlind, 2015)

3.2.5 Pugh- och Kesselringsmatris

Både Pugh- och Kesselringsmatris ämnar att på ett metodiskt och effektivt sätt ta fram den optimala lösningen eller konceptet. I Pughmatrisen används ett av koncepten om inte en lösning som redan existerar som referensbas. De nya koncepteten ställs då i jämförelse mot

referensbasen och betygsätts med ett positivt, negativt eller neutralt tecken (+, -, 0). (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2004)

Kesselringsmatris, som även kallas för den absoluta beslutsmatrisen, är väldigt lik Pughmatrisen i sitt utförande. Det som skiljer Kesselrings version är att varje kriterium, krav eller delfunktion viktas med en skalär. Med andra ord så får varje kriterium olika prioritetsordning eller rang. Skillnaden är att i Kesselring blir det tydligare vilka alternativ som är bäst lämpat, då de inte jämförs med en specifik lösning. För Kesselringmatriserna tilldelas kriterier ett värde w baserat på hur viktiga de anses vara. Sedan fylls det i hur väl koncepten uppfyller kriterierna vilket ges värdet v . En totalpoäng t , vilket är $w*v$, erhålls för varje kriterium hos koncepten och de adderas sedan ihop för att ge koncepten en totalpoäng. I matrisen rangordnas koncepten utifrån totalpoängen. (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2004)

Pugh-matris rekommenderas att göra flertalet gånger med olika referensbaser för att minska felfaktorerna medan Kesselringsmatris enbart behövs köras en gång då alla koncept redan jämförs med varandra oberoende av ett specifikt koncept. (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2004)

3.3 Konstruktionsfas

När slutkonceptet är valt behöver det ofta vidareutvecklas. Det kan göras genom att tillverka en prototyp i olika tillverkningsmetoder. Nedan beskrivs två av projektets tänka tillverkningsmetoder, additiv tillverkning med 3D-skrivare och skärande bearbetning med laserskärare. I projektet konstrueras samtliga prototyper i CAD för att underlätta och möjliggöra dokumentation av arbetet i slutet av arbetsprocessen.

3.3.1 Verkstad

I rapporten refereras det till verkstaden vilket innefattar två olika verkstäder som använts, Prototyplaboratoriet och Teknisk Design Masterverkstad. Båda är belägna på Chalmers tekniska högskola i campus Johanneberg. Prototyplaboratoriet är ett laboratorium som liknar en mekanisk verkstad. Där finns ett rum med flertalet bord som fungerar som arbetsyta, ett rum med 3d-skrivare och ett större rum med större maskiner som till exempel bandsåg, pelarborr, metallfräs och plåtbockningsmaskin. Där finns även enklare verktyg som exempelvis hammare, skruvdragare, vinkelmått och linjal. I Teknisk Design Masterverkstad finns det liknande verktyg som finns i prototyplaboratoriet men i mindre skala. Det finns även ett bås med ventilation som tillåter målning med sprayflaskor. I anknytning till Teknisk Design Masterverkstad finns det ett rum med 3d-skrivare.

3.3.2 CAD – Ett datorprogram

Computer Aided Design (CAD), eller Computer Aided Design and Drafting (CADD), är en teknisk lösning för design och teknisk dokumentation. Det har ersatt manuell ritning genom en datateknisk process. Ingenjörer, designer och arkitekter använder CAD-programvaror för att bland annat konstruera prototyper och modeller, illustrera enklare koncept, simulera belastningar såsom FEM-analyser och visualisera och animera modeller med rätt material i virtuella miljöer. CAD finns i ett stort utbud av olika programvaror med olika slutmål och tillval. På marknaden finns det ett flertal olika aktörer som erbjuder sina egna versioner av CAD-program. (Österlin, 2007)

I det här projektet har både CATIA från Dassault Systemes och Inventor Professional från Autodesk används. För framtagning av visualiseringar och animeringar har projektet använt Keyshot från Luxion (Luxion, 2018) och Fusion 360 från Autodesk (Autodesk, 2018)

3.3.3 Additiv tillverkning med 3D-skrivare

3D-skrivare avser en maskin som producerar modeller genom additiv tillverkning, en tillverkningsmetod som bygger på att maskinen adderar material på en bottenplatta och bygger på lager för lager. Motsatsen är bland annat skärande bearbetning, med till exempel en CNC-fräs, där målet är att från ett materialblock ta bort det material som inte ska vara med i slutprodukten. (Creative Tools, 2018)

Fördelen med 3D-skrivare är att det är en relativt enkel och billig tillverkningsmetod. Är utskriften välplanerad behövs inget uppbyggnadsmaterial vilket medför att utnyttjandegraden för materialet kan vara så hög som 100 procent. (Cummis, 2010) En digital modell behövs för att skriva ut modeller i en 3D-skrivare. Det framställs lämpligast i ett CAD-program där man exporterar modellen till ett 3D-skrivarprogram, där *Simplify3D* är ett exempel på sådant program. I *Simplify3D* importeras modellen i .stl-filformat för att sedan exporteras till .x3g-filformat. X3g-filformat innehåller data som beskriver 3D-skrivarens utskrivningsgång i X-, Y- och Z-koordinater. Det innehåller även information om i vilka temperaturer och i vilka hastigheter det ska ske. (Lund Tekniska Högskola, 2018)

3.3.4 Skärande bearbetning med Laserskärare

Laserskärare använder en laser för att skära eller gravera i till exempel trä, plast, läder, papper. Med en laserskärare kan mycket detaljerade profiler skäras ut och laserskärning har därför ett mycket brett användningsområde. Det finns laserskärare som kan skära genom metall, men laserskäraren i verkstaden är inte kraftfull nog och i den används istället framför allt trä eller olika polymerer. Av metallerna är det bättre att skära genom stål än aluminium eller koppar eftersom att stål inte reflekterar ljus och termisk energi lika väl som aluminium eller koppar.

Att låta en laserskärare skära ut önskade profiler går relativt fort i jämförelse med manuell sågning. Det krävs en relativt kort utbildning för att få använda verkstadens laserskärare i jämförelse med andra skärande maskiner, vilket gör att det är ett lättillgängligt verktyg att använda utan någon verkstadserfarenhet.

En laserskärare skapar, till skillnad från en 3D-skrivare, profiler i två dimensioner. Att skapa 3d-modeller i en laserskärare kan vara komplicerat och ibland omöjligt. Om laserskäraren ska kunna användas måste materialet få plats på arbetsytan som skiljer sig från skärare till skärare. Varje skärare har ett maximått på hur stor area materialet kan ha och det utgör avgränsning av möjligheter. (Thompson, 2010)

3.4 Utvärderingsfas

När prototypen utvecklats och tagits fram bör det göras en utvärdering för att säkerställa att resultatet uppnår de krav som tagits fram. Att testa produkten på användare kan ge en bra indikation på vilka delar som uppfyller kraven och vilka som borde korrigeras. Om resultaten från ett användartest ger ett önskat resultat bör iteration till ett tidigare stadie ske för att ändra prototypen till dess att det önskade resultatet uppnåtts. Iteration kan ske en eller flera gånger beroende på resultaten från användartester och utvärderingar.

3.4.1 Iteration

Ordet har olika betydelse, inom programmering kan det handla om att få en process att åstadkomma något genom upprepade gånger beräkna något till rätt resultat. Inom produktutveckling handlar det oftast om att designa, tillverka, testa och utvärdera för att sedan gå tillbaka till design-fasen. En iteration motsvarar en "loop". Enligt J. Nielsen var under fyra fallstudier medianförbättringen av den totala användbarheten från första till sista iteration 165%, en medianförbättring på 35% per iteration. (Nielsen, 1993)

3.5 Dokumentation

Produkten av det här projektet är främst två saker; en fysisk prototyp och dokumentation som slutprodukten ska kunna tillverkas utifrån. Eftersom att arbetet leder fram till en fysisk produkt är en fysisk prototyp att föredra tillsammans med eventuella skisser och ritningar.

3.5.1 Skriftlig dokumentation, ritningar, och digitala modeller

Om en färdig produkt ska kunna tillverkas måste en dokumentation med instruktioner för tillverkning finnas. Dokumentationen innehåller projektets resultat, ritningar, CAD-modeller och ytterligare information som är användbart under tillverkning eller vidareutveckling av produkten. Dokumentationen kan även användas under utvärderingen av produkten för att se om de mål som initialt satts upp för projektet har genomförts och om inte, utvärdera varför och vad som kan ha ändrats under projektets gång. (Lindstedt & Burenius, 2006)

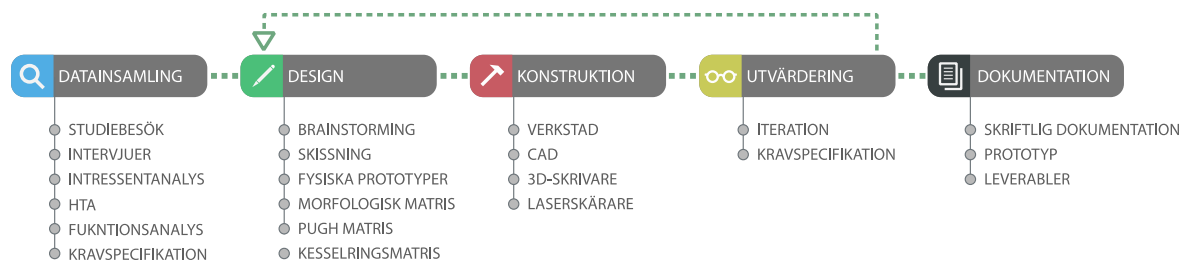
3.5.2 Prototyp

Prototypen har till avseende att visualisera slutprodukten. Prototypen kan användas för att visas upp för intressenter för att de ska få en större förståelse för slutprodukten utan att behöva läsa dokumentationen. Det finns två huvudtyper av prototyper, prototyper som ska se ut som den slutgiltiga produkten och prototyper som testar en viss funktion. Prototypen kan även användas under användartester för att testa olika delfunktioner. En prototyp kan både vara fysisk, av till exempel papper eller lera, och skissad för att tidigt i processen kunna visualisera produkten. (Österlin, 2007)

4. Genomförande och resultat

Kapitlet sammanfattar hela projektets genomförande och vad det resulterade i. Första fasen beskriver hur projektgruppen metodiskt samlade information och data för att senare strukturera och analysera den. Produkten av fasen resulterade i krav som användes som ramar för vidare faser. Vidare togs koncept fram utav angivna metoder. Koncepten realiserades och tillverkades för att senare förädlas genom iterationer byggda på utvärderingar av respektive del och som helhet. Arbetet dokumenterades och slutligen presenteras slutprodukterna genom dokumentation och visualiseringar.

Nedan illustreras arbetsprocessen i figur 11, som tidigare illustrerats och omnämnts i avsnitt 3.



Figur 11 - illustration av arbetsprocess

Figuren illustrerar en förenkling och är en översiktlig modell av projektets arbetsprocess, som innehåller fem faser; *Datainsamlings*-, *Design*-, *Konstruktions*-, *Utvärderings*-, och *Dokumentationsfasen*. De utgör projektet i stort och innehåller delmål och aktiviteter för respektive fas. Utöver faserna så var rapportskrivande en överliggande aktivitet som genomgick under projektets gång. Efter att utvärderingen gjordes skedde iteration från och med *Designfasen* till och med *Utvärderingsfasen* för att utveckla prototypen till det bästa möjliga resultatet inom projektets tidsramar. Viktigt här var att lämna tid åt sista fasen som sker efter iterationen för att ha marginal till eventuella problem. Varje fas återkopplas till figuren för att det enkelt ska gå att följa med i avsnittet.

4.1 Datainsamlingsfas

Datainsamlingsfasen syftade på att samla och strukturera information om potentiella problemområden som intressenterna avgett. Fasen utformade en klar helhetsbild över vad slutkunden hade för behov och krav. Det genomfördes med följande metoder och tekniker:

- Intressentanalys för att hitta intressenterna i projektet
- Användningstest med skalmodell i papp
- Studiebesök hos intressenter
- Intervjuer
- Undersökningsblanketter
- Funktionsanalyser
- Kravspecifikation

4.1.1 Studiebesök

Under projektet genomfördes olika studiebesök för att projektgruppen skulle få en djupare kunskap om projektet MATS och hur olika parter är inblandade i projektet. Studiebesöken gav projektgruppen kunskap om satellitens olika delar och tips på hur de bäst visualiseras i en prototyp. Besöken resulterade även i att intressenterna fick mer information om projektets innebörd och hur de kan komma att påverkas av det. Kontakten med intressenterna öppnade upp för ett framtida samarbete och för att projektgruppen skulle få tillgång till information som till exempel CAD-filer.

4.1.1.1 Stockholm - Rymdstyrelsen och OHB

Under arbetets gång utfördes ett studiebesök till Stockholm för att besöka Rymdstyrelsen och OHB Sweden AB. Rymdstyrelsen finansierar projektet MATS och besöket till rymdstyrelsen gav projektgruppen insikt i hur projektet MATS är uppbyggt och övergripande kunskap om projektet. En bild togs av Ronnie Lindberg, Rymdstyrelsen och delar av projektets medlemmar, se figur 12.

Under besöket fick projektgruppen för första gången se en CAD-modell av insidan på InnoSat och en genomgång av hela plattformen. OHB Sweden AB visade även upp en strukturmodell, en modell där de riktiga komponenterna representeras av vikter i samma storlek, som skulle genomgå ett test med mekaniska påfrestningar för att försäkra att satelliten håller under uppskjutningen och när den skjuts från raket. Under besöket fick projektgruppen en rundtur på arbetsplatsen där olika modeller från tidigare projekt stod. Det gav projektgruppen kunskap om andra svenska satelliter och hur tidigare modeller tillverkats.



Figur 12 - Bild på Sandra Säfdal, Ronnie Lindström, Anton Andersson, Erik Gunnarsson under ett besök hos Rymdstyrelsen

4.1.1.2 Göteborg - Omnisys Instruments

Omnisys Instruments utvecklar instrumentet som ska användas för att undersöka nattlysande moln och atmosfärvågor. Projektgruppen besökte Omnisys Instruments för att lära sig mer om instrumentet. Under besöket fick projektgruppen en genomgång av Omnisys Instruments AB inblandning i projektet, instrumentet och hur optiken i Limbbaffeln fungerar. De skänkte även utskrivna modeller till projektet och strukturmodeller av de speglar som sitter i Limbinstrumentet. Precis som Rymdstyrelsen och OHB Sweden blev även Omnisys Instrument intresserade av projektarbetet och efter besöket gav de projektgruppen tillgång till en CAD-modell av instrumentet som var en mycket viktig del under projektet.

4.1.2 Intervjuer

Under studiebesöken höll projektgruppens medlemmar intervjuer med nyckelpersoner på de organisationer som är inblandade i projektet MATS. Målen med intervjuerna var framförallt att få en förståelse för vad för respektive organisation hade för roll i projektet samt kunna ställa frågor om hur satellitens olika komponenter var konstruerade. Ytterligare mål var att få en insyn i vad personer inom rymdindustrin själva såg som intressant med sitt jobb och vilka aspekter med MATS de fann inspirerande och värda att framhäva i modellen.

De intervjuer som genomfördes i projektet har varit av kvalitativ karaktär då projektgruppen fann intervjuer att vara den bästa källan av information på detaljnivå. Många av de inblandade parterna i projektet delade gärna med sig av kunskap om sitt respektive område vilket gjorde det möjligt att erhålla information som inte finns publicerad. Personerna projektgruppen kommit i kontakt med hade alla bra insikter i projektet och hög expertis vilket intervjuerna hade som mål att ta tillvara på.

Insamling av kvantitativa data om målgruppen gjordes istället till enbart enkäter. Det motiverades med att projektet hade otillräckliga resurser för att hitta och intervjua ett representativt urval samt att Det var därtill föga troligt att de kunde ge svar av tillräcklig kvalitet att mediet enkät kontra intervju skulle ha blivit en begränsande faktor. Samtliga transkriberingar inklusive intervjumall kan läsas i bilaga F.1 och F.2

4.1.2.1. Rymdstyrelsen - Ronnie Lindberg

Intervjuobjekt på Rymdstyrelsen var Ronnie Lindberg, ansvarig för Rymdstyrelsens pågående satellitinitiativ där MATS är den första i en planerad serie av nya satellitprojekt. Inom projektet MATS har Ronnie rollen som projektkontrollerare (eng. *Project Controller*) och kontrollerar att projektet ligger i fas. Mötet började med att Ronnie gick igenom Rymdstyrelsens presentation av projektet MATS och fortsatte som en semistrukturerad intervju.

Ronnie förklarade att projektet MATS skiljer sig från hur utveckling av forskningssatelliter brukar gå till då det främst är nationella organisationer inblandade. I vanliga fall sker utvecklingen i Europa kollaborativt under ESA (European Space Agency, 22 medlemsländer, cirka 2300 anställda) där även Sverige är ett av medlemsländerna och dit majoriteten av Rymdstyrelsens budget för satellitprojekt går. Det är få länder i Europa som besitter både den budget och spetskompetens som krävs för nationell utveckling av en hel satellit och för att projektet MATS ska vara möjligt att genomföra har stort fokus lagts på att hålla kostnader nere.

Det Ronnie anser intressant att visa upp med modellen är tekniken bakom kamerorna med användandet av Vantablack, se 2.3.2.3, vilket han tycker är spännande och han ser gärna en genomskärning av något av instrumenten. Han tycker det är viktigt med realism och tror att det visuella intrycket stärks av de blänkande detaljerna hos flerlayersisoleringen och solcellerna. Förutom de specifika delarna anser Ronnie att ingenjörskonsten, och de speciallösningar som krävs för att hålla kostnaden nere, samt hur billig satelliten blir i förhållande till forskningsnyttan den kommer medföra är mycket imponerande.

Vidare frågar projektgruppen även om vad Ronnie finner lockande med rymdindustrin och sitt eget jobb. De två punkter som framhävs är framförallt komplexiteten och variationen i arbetet med rymdteknik. Det krävs ingenjörer och forskare från en mängd olika fält för att konstruera

en satellit. Dessutom ser Ronnie ett stort värde i det arbete som utförs och i målet med forskningen vilken kommer driva människans förståelse för världen framåt.

Sammanfattat togs följande med från intervjun:

- En djupare insikt i projektet MATS och Rymdstyrelsens roll i projektet
- En djupare insikt i rymdindustrin som yrkesbransch
- De unika aspekter för satelliten MATS, att det är ett nationellt satellitprojekt med forskningssyfte i ett europeiskt land genomfört med den relativt begränsade budget det medför, är spännande även för de som sen länge är yrkesverksamma inom branschen.

Följande önskemål formulerades:

- Förmåga hos modellen att illustrera limbinstrumentets funktion
- En hög detaljnivå hos modellen för att eftersträva realism

4.1.2.2. OBH Sweden, Oskar Svensson och Robin Lilja

Intervjuobjekten från OHB Sweden var Oskar Svensson och Robin Lilja, konstruktör respektive systemingenjör. Mötet hade fokus på plattformen InnoSats uppbyggnad och olika komponenter. Oskar och Robin presenterade majoriteten av plattformen InnoSats delar för projektgruppen med en projicerad CAD-modell som visuellt stöd.

Utöver detaljer om de individuella komponenterna förklarades även betydelsen av pekning, en satellits förmåga att rikta in sig mot en viss punkt och bibehålla riktningen med ett visst precisionskrav. Företaget har varit delaktiga i konstruktionen av svenska satelliter förr men projektet MATS skiljer sig från tidigare projekt eftersom att man nu konstruerar de vetenskapliga mätinstrumenten för att passa på satelliten istället för att konstruera satelliten runt instrumentet, som det annars brukar göras.

Det berättades även att materialet i strukturpanelerna skiljer sig från de mycket dyra *bikakestrukturspaneler*, se 2.3.2.4, som annars används till väggar i större satelliter. OHB Sweden har undvikit behovet av dem genom ett genomgående fokus på att reducera InnoSats storlek och genom att göra designen för chassit och dess innehåll så kompakt som möjligt. Det har gjort det möjligt att ersätta bikakestrukturspanelerna med strukturpaneler i aluminium som utformats med ribbor i ett förstärkande mönster. Strukturpanelerna visades upp senare under studiebesöket och Robin förklarade att de tillverkats genom precis fräsning med hårda toleranskrav där den färdiga panelen har en godstjocklek på 1 mm.

Sammanfattat togs följande med från intervjun:

- Detaljerad information om InnoSats komponenter
- Insikt i några av de kritiska utmaningar som behöver lösas för att satelliter ska fungera:
 - Styrning
 - Pekning
 - Navigation
 - Isolering och bortledning av värme
 - Kommunikation med jorden, dataöverföring
 - Uppskjutningsprocessen
- Insikt i några av de ingenjörsmässigt imponerande lösningar som gjorts för att hålla nere kostnaden jämfört med konventionella satellitprojekt

4.1.2.3. Omnisys Instruments AB, Arvid Hammar

Intervjuobjekt på Omnisys Instruments var Arvid Hammar, optikingenjör på Omnisys Instruments AB. Arvid började med en presentation om Omnisys Instruments roll i projektet och fortsatte med att förklara instrumentets uppbyggnad och olika komponenter för projektgruppen. En grafisk representation av Limbinstrumentets insida visade ljusets väg genom teleskopet och hur det efter en serie speglar och stråluppdelare delas upp i olika kanaler.

Arvid visade även en prototyp av speglar i aluminium vilka skulle användas i det färdiga instrumentet. De tillverkades genom en metod kallad diamantsvarvning vilken resulterade i att spegelns yta blev spegelblank. Fördelen, förklarade Arvid, var att aluminium inte är skört som glas och att speglarna får samma termiska expansionskoefficient som övriga aluminiumdelar i satelliten. Det reducerar problemet med termiska spänningar som resultat av den extrema temperaturvariation som sker i rymden.

Arvid delade åsikter från tidigare intervjuer om att optiken var den mer intressanta delen att illustrera i modellen men hävdade att Vantablack och dess absorberande egenskaper ger ett mer imponerande intryck än ljusstrålarna.

Sammanfattat togs följande med från intervjun:

- Detaljerad information och förståelse för limbinstrumentets uppbyggnad och funktion
- Insikt i några av de ingenjörsmässigt imponerande och ickekonventionella lösningar som gjorts för att hålla projektets budget.

4.1.2.4. Projektet MATS, Ole-Martin Christensen

Mot slutet av datainsamlingsfasen i projektet hölls ett möte med Ole-Martin Christensen, beställare av projektet samt extern handledare. Projektgruppen genomförde en semistrukturerad intervju om planerad användningsmiljö, följt av diskussion angående det material som samlats in i projektet och de tidiga koncept som tagits fram med hjälp av det.

Ole-Martins tänkta användningsområde för produkten är framförallt föreläsningar dit modellen i majoriteten av fallen kommer att transporteras av Ole-Martin själv i bagaget på hans egen bil. Eftersom han då anländer ensam ser han gärna att modellen går att montera isär och har inget problem med att behöva gå flera vändor från och till bilen om det gör det avsevärt lättare för honom att förflytta modellen.

Angående detaljnivå anser Ole-Martin likt tidigare intervjuobjekt att det är viktigt med realism och vill inte att det gör orealistiska förändringar, som exempelvis tillägg av signalfärger eller text, för att framhäva särskilda delar av satelliten. Projektgruppen visar ett förslag på att göra en genomskärning i limbinstrumentet för att kunna illustrera och förklara teleskopets funktion vilket Ole-Martin är positiv till. Projektgruppen för även en diskussion om ifall det finns ett värde i att även ge möjlighet för insyn i InnoSat och där representera de inre komponenterna. Ole-Martin berättar att OHB Sweden AB hört av sig efter det tidigare studiebesöket vilket väckt intresse hos dem för modellen och att de gärna såg att InnoSats insida fanns representerad. Ole-Martin själv såg förslaget som rimligt men ansåg att detaljnivån på satellitens yttre var att prioritera och att det exempelvis inte skulle kompromissas med den blänkande flerlayersisoleringen på InnoSat för att visa vad som döljer sig under den.

Utöver de explicita frågorna förs även en generell diskussion kring avväganden mellan realism kontra förmåga att tydligt förklara komponenters funktion genom förenklingar. Ole-Martin anser att modellens representativitet är viktigast och att den är projektgruppens främsta uppdrag med modellen. Om projektet funnit intresseväckande aspekter med MATS, som kan bistå Ole-Martin i hans mål om att inspirera framtidens ingenjörer att söka sig till rymdindustrin, men de inte lämpar sig att illustrera i en realistisk modell ska projektgruppen fokusera på huvuduppdraget, en representativ modell, och lämna vidare förslag i projektrapporten så att de eventuellt kan komma till nytta.

Sammanfattat togs följande med från intervjun:

- Beställarens önskemål om realism och hög detaljnivå, åtminstone för produktens yttre men även för det inre om projektets resurser tillåter det
- Beställarens åsikt att hanterbarhet väger tyngst i avvägningar mot realism
- Förståelse för den kontext produkten kommer användas i vilket resulterade i följande krav:
 - Produktens dimensioner och hållfasthet ska tillåta transport i bil
 - Produktens hantering och förflyttning bör ej kräva fler än en person

4.1.2.5. Chalmers Tekniska Högskola, Per-Olof Nilsson

Professor emeritus Per-Olof Nilsson vid institutionen för Tillämpad informationsteknik på Chalmers tekniska högskola är känd för sitt engagemang i populärvetenskapliga initiativ med syfte att inspirera och bilda allmänheten med speciellt fokus på de yngre. Per-Olof kontaktades med förhoppningen om att få ta del av hans erfarenhet och expertis vilket resulterade i ett möte under vilket det hölls en 2 timmar lång ostrukturerad intervju om hur det går att väcka intresse för vetenskapliga fenomen.

Per-Olof var av åsikten att förenklingar är en nödvändighet för att förklara vetenskapligt komplicerade fenomen och för att säkerställa att budskapet kan nå en så bred allmänhet som möjligt där krav på tidigare kunskaper och förståelse inte blir ett hinder. En av de viktigaste faktorerna för att få åskådares, och framförallt de yngres, uppmärksamhet var enligt Per-Olof möjligheten till aktivt deltagande. Per-Olofs rekommendation var att alltid inkludera någon form av interaktivt moment. Ett antal experiment från Per-Olofs tidigare utställning, *Fysikaliska leksaker*, visades och demonstrerades som inspiration för de av projektgruppens medlemmar som deltog vid besöket.

Sammanfattat tog projektgruppen med sig följande från tillfället:

- Insikten att förenklingar ofta är nödvändiga för att förklara komplexa problem på ett sätt som gör det möjligt för personer utan förkunskap att förstå dem
- Förståelse för vikten av möjlighet till aktivt deltagande för att engagera åskådare
- Inspiration till hur fysikaliska fenomen kan illustreras praktiskt

4.1.3 Enkätundersökning

I datainsamlingsfasen gjordes en enkätundersökning till syfte att undersöka intresset för modellen. Två enkäter gjordes, en för allmänheten och en för personer med koppling till projektet. Den första enkäten spreds via sociala medier för att på ett effektivt sätt kunna nå ut till en stor målgrupp. Den andra enkäten skickades via mail till Omnisys, OHB, Rymdstyrelsen och Stockholms Universitet.

Enkäten för allmänheten bestod av inledande frågor för att skapa en överblick över hur stor del av målgruppen 8 till 80 år som svarat på enkäten. Följande frågor berörde kunskap och

intresse av satelliter och svensk rymdindustri, men även vilka inlärningsätt som föredrogs. Slutligen fanns ett fält där övriga tankar och idéer kunde skrivas ned. Fullständig enkät finns i bilaga D.2.

Enkäten för personer med koppling till projektet användes för att besvara frågor om vad som är mest intressant att inkludera i en modell av MATS och vad som är överflödigt. I början av enkäten finns även frågor om ålder och koppling till projektet MATS för att få en översikt av vilka personer och företag som svarat på enkäten. Fullständig enkät finns i bilaga D.1.

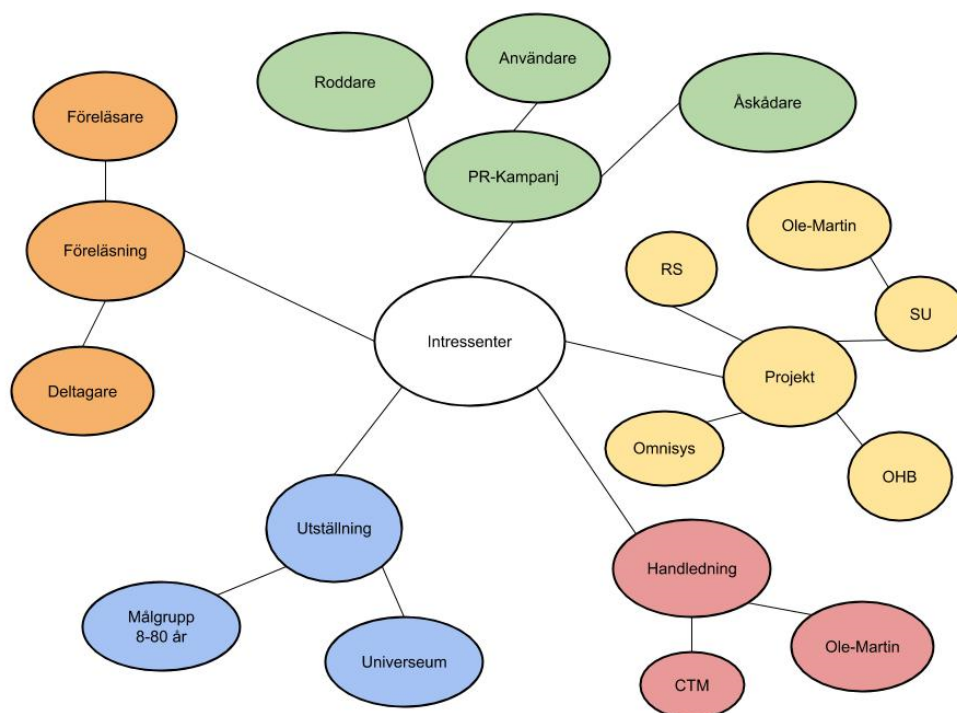
På enkäten för allmänheten svarade 72 personer vilka övervägande var mellan 20 till 30 år gamla och studerande på högskola. Enkäten hade vissa intressanta resultat som togs hänsyn till under arbetet. Enkäten visade att många kunde väldigt lite om svensk rymdforskning och MATS, men att de flesta är intresserade av att lära sig mer. De tre viktigaste aspekterna för att en modell skall öka intresset av rymdteknik var enligt enkäten att den är så verklighetstrogen som möjligt, att den är lätt att förstå och att de olika delarna beskrivs kortfattat. Slutligen gav enkäten svar på frågan om vad det finns intresse att veta mer om med att det finns intresse för mer kunskap om hur satelliter fungerar. Fullständig statistik och svar finns i bilaga D.2.

Trots att det endast var fem personer som svarade på enkäten som var ämnad för personer med koppling till projektet så uppfyllde enkäten sitt syfte och gav en del intressanta svar. De fem personerna som svarade på enkäten hade alla olika koppling till satelliten MATS och därför gavs fem olika förslag på intressanta delar att ha med i modellen. Ett intressant utslag var på frågan om vad som är överflödigt att ha med i modellen där tre av fem svar menar på att elektroniken är överflödig. Fullständiga svar finns i bilaga D.1

4.1.4 Intressentanalys

Tidigt i arbetet gjordes en intressentanalys för att undersöka vilka intressenter arbetet och i sin tur modellen berör. Analysen sammanfattas i en karta, se figur 13. Intressenterna delades upp i undergrupper beroende på vilket sätt de berörde projektet. Undergrupperna består av följande:

- Projekt
- Handledning
- Utställning
- Föreläsning
- Pr-kampanj



Figur 13 - Illustration av intressentanalys

Ett bakomliggande arbete med undersökningar och studier för att ta fram ett koncept görs för att skapa modellen. Projektets intressenter är de som kan ge information och kunskap om projektet MATS för att arbetet ska få ett så bra resultat som möjligt. Intressenterna är några av de olika parter som är inblandade i projektet MATS. De är Rymdstyrelsen (RS), OHB Sweden, Omnisys Instruments och Stockholms universitet (SU).

Handledning mellan projektgruppens medlemmar och projektets handledare skedde kontinuerligt under projektets gång. Det är den handledare som tilldelats för projektet från Chalmers tekniska högskola, men även en extern handledare.

En presentationsmodell som ställs ut har intressenter. Intressenterna består av målgruppen modellen ska nå ut till och platsen den ställs ut på. För det här projektet är Universeum ett exempel på en intressent som är en potentiell utställningsplats.

Modellen ska kunna användas under föreläsningar som rör både projektet MATS och Sveriges rymdindustri. Om den ska kunna användas under föreläsningar så bra som möjligt är det viktigt att ta hänsyn till både deltagare av föreläsningen och till personerna som kan komma att hålla i föreläsningen.

Modellen avser att nå ut till en stor målgrupp i marknadssyfte för Sveriges rymdindustri. De intressenter som det berör är roddare, användare och åskådare. Om uppvisningen av modellen ska vara genomförbar krävs det att den går att använda av alla intressenter.

4.1.5 Resultat från empiriska studier

Presentationsmodellen av satelliten MATS bör vara så lik originalet som möjligt. Den ska vara mobil och transporterbar vilket sätter krav på maximal vikt samt hur ömtålig den får

vara. Det i kombination med en låg budget medför svårigheter då originalet är tillverkat främst i aluminium. Aluminium bearbetas genom skärande bearbetning, en process som är för komplicerad och dyr för det här projektet. Presentationsmodellen ska tåla vanlig hantering då den önskas att kunna interageras med. Den ska visa hur satelliter är konstruerade och fungerar men ska även vara lätt att förstå. Den bör därför vara konstruerad med möjlighet till insyn. Enligt forskare och konstruktörer som arbetar med MATS så är elektronik och ingående komponenter mindre viktigt att illustrera. Däremot medför all synlig elektronik att modellen ser verklighetstrogen ut. Samtliga intervjuobjekt bidrog med samma om inte jämbördig information.

Det valdes att summera och definiera fem punkter att främst fokusera på och arbeta vidare med från de empiriska studierna:

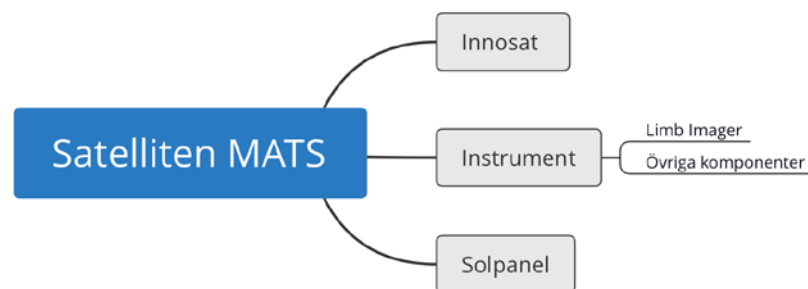
- Modellen bör vara så verklighetstrogen som möjligt
- Limbinstrumentet bör kunna interagera med
- Insyn inuti plattformen InnoSat och Limbinstrumentet bör finnas
- Övriga instrument bör förenklas
- Modellen bör konstrueras så att den kan användas av en oberoende person

Punkterna kom att ses som riktlinjer och lade grunden till kravspecifikationerna.

4.1.6 HTA och funktionsanalys

Satelliten MATS består av ett stort antal komponenter som behövde grupperas efter en logisk indelning. Från intressentanalysen delades satelliten upp efter de intressenter som tillverkar respektive delar. Satelliten delades upp enligt figur 14 i följande grupper:

- InnoSat-plattform
- Instrument
- Solpanel



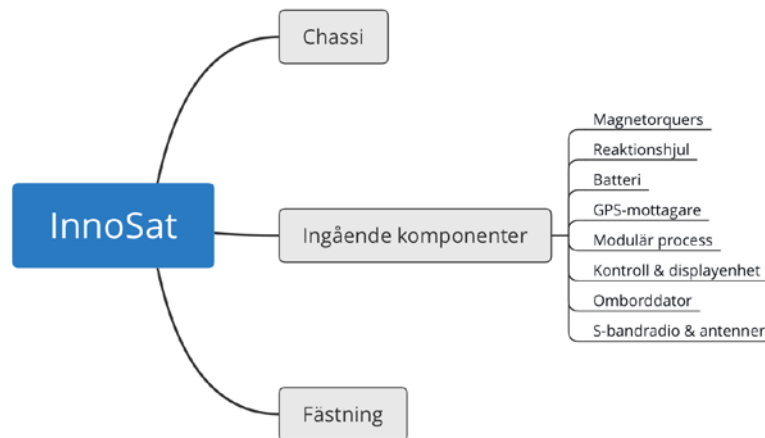
Figur 14 - Funktionsanalys av Satelliten MATS

OHB Sweden tillverkar plattformen InnoSat och Omnisys Instruments tillverkar instrumentet. OHB Sweden är ansvariga för inköp av solpanelen men tillverkar den inte själv och därför separeras InnoSat och Solpanel till två olika grupper. Instrumentet delades in ytterligare i två undergrupper, Limbinstrumentet och Övriga komponenter. Grupperingen gjordes för att Limbinstrumentet är den främsta delen av instrumentet och mest intressanta enligt enkätundersökningen.

4.1.6.1 InnoSat

InnoSat är plattformen som instrumentet använder för att kunna fungera ute i rymden. InnoSat delades upp, enligt figur 15, i följande grupper:

- Chassi
- Ingående komponenter
- Fästning



Figur 15 - Indelning av InnoSat

Indelningen gjordes utifrån en funktionsanalys av plattformen med avseende på tillverkning. För chassit är kravet på hållfasthet viktigast och för de ingående komponenterna är kravet på utseende det viktigaste. Fästningen är en praktisk nödvändighet och benämndes därför som en egen funktion. De ingående komponenterna som ska visualiseras i InnoSat är:

- Magnetorquers
- Reaktionshjul
- Batteri
- GPS-mottagare
- Modulär process och kontroll & displayenhet
- Omborddator
- S-bandradio och tillhörande antenner

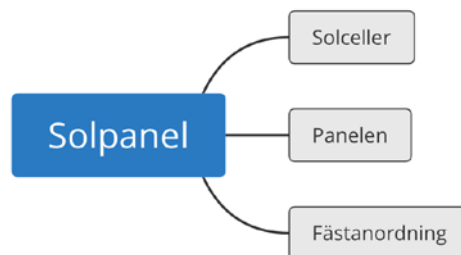
Det viktigaste med att visualisera de ingående delarna är att kunna visa hur en satellit ser ut på insidan. Enligt blankettundersökningen bilaga D.2, var en av de viktigaste aspekterna med en modell av en satellit att ge en större kunskap om hur satelliter fungerar. De ingående komponenterna i InnoSat är vad som gör att satelliten fungerar i omloppsbanan och att visualisera dem blir därför en viktig del i att visa hur en satellit fungerar.

4.1.6.2 Solpanel

På satelliten genererar solpanelen all den elektricitet som krävs för drift, mätningar och kommunikation med Jorden. På modellen, i ett lärandesyfte, lämpar sig komponenten i fullskala dåligt för att förklara den verkliga solpanelens funktion eller de fysiska fenomen som funktionen utnyttjar på. Funktionen för solpanelens representation blir istället att med ett detaljrikt yttre dra uppmärksamhet till modellen som helhet.

En funktionsmässig uppdelning av solpanelens delar gav följande indelningar, se figur 16, med respektive utmaningar att lösa vid utformning av deras representationer i modellen:

- Solceller, utgör solpanelens primära funktion. I modellen har de en visuell funktion och behöver återskapas med hög likhet.
- *Panelen*, den bikakestrukturspanel som ger fixeringsyta för solcellerna, har samma funktion både på originalet och i modellen. Den tunna panelen är en av satellitens större komponenter och i konstruktion av modellen måste den göras lätt men hållfast.
- Fästanordning, fäster solpanelen i plattformen InnoSat och resten av satelliten. Fästet måste i modellen kunna bära solpanelens vikt.

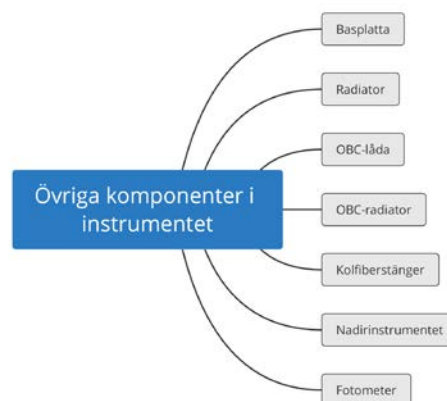


Figur 16 - Indelning av Solpanel

4.1.5.3 Övriga komponenter i instrumentet

Resterande delar av instrumentet ansågs inte ha samma möjligheter till undervisning, och det bestämdes därför att de inte skulle vara möjliga att interagera med. Det innebar att fokus endast lades på att till synes efterlikna satelliten, där samtliga delar som inte syntes exkluderades. Till exempel alla ingående komponenter i omborddatorn som inte var nödvändiga att inkludera då de inte syns och därmed valdes att inte tillverkas. Bikakestruktur som inte syntes tillverkades inte heller för samma anledning. Övriga komponenter av instrumentet delades, enligt figur 17, in i sju huvudkomponenter

- Basplatta
- Radiator
- OBC-Radiator
- OBC-Låda
- Kolfiberstänger
- Nadirinstrumentet
- Fotometer

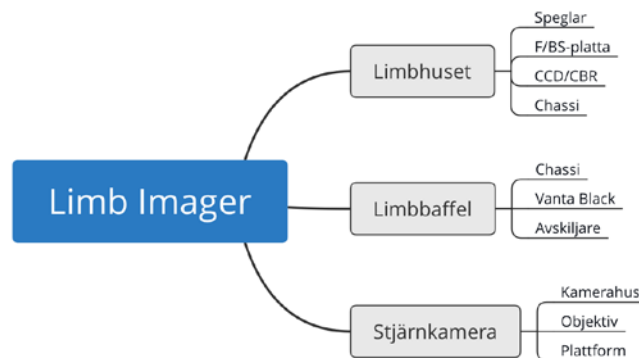


Figur 17 - Indelning av Övriga komponenter i instrumentet

4.1.6.4 Limbinstrumentet

Limbinstrumentet, den främsta delen i instrumentet, har som funktion att separera och filtrera strålar med olika våglängder till sensorer som läser av och lagrar data. Limbinstrumentet delades in, i följande grupper enligt figur 18:

- Limbhuset
- Limbbaffel
- Stjärnkamera



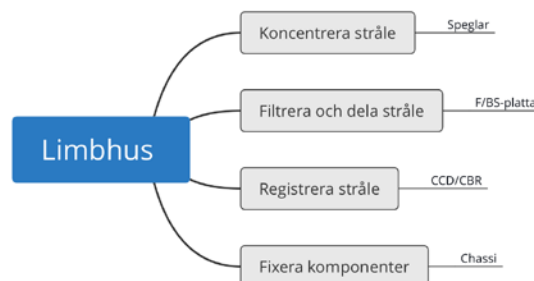
Figur 18 - Indelning av Limbinstrumentet

Indelningen är baserad på en funktionsanalys som David Stomilovic, mekanikingenjör och ansvarig för konstruktionen av Limbinstrumentet, ansåg vara den mest logiska indelningen utifrån ett konstruktionsperspektiv. Den här inledningen för projektet valdes för att underlätta framtida kommunikation med David.

Vidare diskuterades det med projektets externa handledare hur indelning av vardera gruppen skulle göras. Limbhuset delades upp i följande undergrupper:

- Speglar
- F/BS-platta
- CCD/CBR
- Chassi

Indelningen bestämdes utifrån Limbinstrumentets delfunktioner enligt figur 19; att *koncentrera, dela upp och filtrera* samt *registrera ljusstrålar*. Komponenterna fixerades med hjälp av chassit.



Figur 19 - Indelning av Limbhus

4.1.7 Kravspecifikation

Funktionsanalysen, den hierarkiska uppgiftsanalysen, resultatet från intressentanalysen och intervjuerna sammanställdes till fyra åtskilda kravspecifikationer för respektive grupp.

4.1.7.1 InnoSat

I tabell 1 specificeras kravspecifikationen för InnoSat:

	Funktion	Kriterium	Krav eller önskemål
Huvudfunktion	Produkten representerar originalet	Ge ett trovärdigt intryck	K
		Liknar originalprodukten	K
Nödvändiga funktioner	Instrumentet och solpanelen skall kunna fästas på produkten	Infästningar för basplattan	K
		Infästningar för solpanelen	K
	Produkten ska kunna hanteras av en person	Väga mindre än 10kg	K
	Produkten ska kunna transporteras	Tillräcklig hållfasthet	K
	Produkten ska tåla hantering utifrån instruktioner	God användarvänlighet	K
Önskvärda funktioner	Produkten illustrerar ingående komponenter	Riktig placering av komponenter	Ö
		Insyn i produkten	K
	Produkten representerar de komponenter som finns i InnoSat	Hög detaljrikedom	Ö
		Samtliga komponenter ska representeras	Ö
	Produkten ska kunna repareras	Komponenter fästes permanent	Ö
		Komponenter går att komma åt	K
	Materialet ger ett trovärdigt intryck	Efterlikna originalets material	K
		Ytbearbetning håller kvaliteten under längre tidsanvändning	Ö
	Ingående komponenter ska synas tydligt	Belysning finns	Ö
	Produkten ska kunna stå ohjälpt	Medge tillförlitlighet	K
		Vara väl balanserad	K

Tabell 1. Kravspecifikation av InnoSat

Enligt användarundersökningen var det viktigaste med modellen att den *liknar originalet*. Därför är det ett krav både att modellen *ger ett trovärdigt intryck* och att den liknar originalet InnoSat. På plattformen InnoSat sitter både solpanelen och instrumentet. Om modellen ska fungera som helhet ska båda delarna kunna fästas på InnoSat. Då är det viktigt att den konstrueras till att *ha infästningar* för både solpanelen och basplattan. När modellen ska flyttas mellan olika platser kommer den behöva bäras av en person. Om modellen är för tung för en person att bära finns det risk att den skadas vid transport. Plattformen InnoSat fick inte överstiga *10 kilogram* för att säkerställa att modellen inte blir för tung. Hållfasthet är viktigt, men om modellen konstrueras för att klara mycket hög belastning är det risk att modellen konstrueras för tungt och att den blir mindre verklighetstrogen. Därför räcker det att hållfastheten är *tillräcklig för att klara transport*.

Ett krav på att det finns insyn i InnoSat så att *de ingående komponenterna syns* formulerades. Att *komponenterna sitter som på den riktiga satelliten*, att *alla komponenter finns* och att de har *hög detaljrikedom* är önskemål. Det kan öka kvaliteten på produkten om önskemålen

uppfylls, men inte tillräckligt mycket för att det är ett krav. Om någonting på InnoSat går sönder ska det kunna repareras. Därför måste alla komponenter *gå att komma åt*. Om produktens material *efterliknas originalets material* kan den uppnå en trovärdig känsla. Ett önskemål är att materialets *ytbearbetning håller kvaliteten under längre tidsanvändning* så att trovärdigheten inte minskar med tiden. Om det inte är ljust nog i omgivningen för att de ingående komponenterna ska synas tydligt kan det vara önskvärt att *inbyggd belysning finns*, men det är inte nödvändigt. Slutligen måste produkten, särskilt eftersom att både instrumentet och solpanelen sitter på den, *stå stadigt* så att den inte skadas av ett fall eller blir svår att använda.

4.1.7.2 Solspanel

I tabell 2 följer kravspecifikationen för solpanelen

	Funktion	Kriterium	Krav eller önskemål
Huvudfunktion	Produkten representerar originalet	Liknar originalprodukten	K
		Mått- och skalriktighet mot originalet	K
		Trovärdiga representationer av originalets material	K
Nödvändiga funktioner	Produkten ska med enkelhet kunna fästas i och tas loss från InnoSat-modellen	Vara försedd med infästningar	K
		Ej kräva verktyg för montering	K
		Tid för montering bör ej överskrida 15 sekunder	Ö
	Produkten ska kunna hanteras av en person	Vikt överskrider ej 7 kg	K
		Vara väl balanserad	Ö
	Produkten ska kunna transporteras i en personbil	Tillräcklig hållfasthet	Ö
		Produkten måste få plats i en personbil	K
	Produkten ska tåla hantering utifrån instruktioner	God användarvänlighet	K
	Produktens utseende bör vara konsekvent med modellens övriga delar	Likvärdig detaljnivå	Ö
		Konsekventa metoder för representation av material	K
Önskvärda funktioner	Produkten bör väga så lite som möjligt	Minimera total densitet	Ö
	Fästet mot InnoSat bör kunna bära upp solpanelen om InnoSat lyfts upp	Med marginal klara belastningen från solpanelens vikt	K
	Stabil montering mot InnoSat	Produkten skakar ej sig vid förflyttning av modellen	Ö
	Infästningen bör ej slitas ut av det antal på/avmonteringar som kan anses rimligt under produktens livslängd med normal användning	Fästmekanismen ska klara minst 500 på- och avmonteringar utan funktionsförsämrande slitage	K
	Kraftigt visuellt intryck som drar intresse till modellen redan på avstånd	Representationen av solcellerna ska reflektera ljus på ett trovärdigt sätt	Ö
	Produkten monterad ska tillåta att modellen kan stå stabilt på plan yta	Monterad bör solpanelens underkant vara i linje med InnoSats botten	Ö
	Infästningen i InnoSat påverkar inte intryck av trovärdighet hos solpanelen	Utnyttja befintliga infästningar i originalprodukten eller dölj ev. skruvhål på framsidan.	Ö
		Bör ta upp motsvarande utrymme mellan solpanel och InnoSat som den verkliga infästningen	Ö

Tabell 2. Kravspecifikation av Solpanel

Solpanelens huvudfunktion *att trovärdigt representera originalprodukten* vilket innebär att måttriktighet bör eftersträvas till högsta möjliga grad. Uppdragsgivaren uttryckte inga önsningar för solpanelen men det framgick under intervju att solpanelen är en av satellitens mest visuella komponenter och en tydlig igenkänningsfaktor för betraktare. Det ansågs därför viktigt att komponenten på modellen har en relativt hög detaljnivå och återskapar det karakteristiska blänket för att på avstånd kunna dra uppmärksamhet till modellen. Då funktionen primärt har ett dekorativt syfte resulterade det i ett mål om att med komponentens design väga detaljnivå mot vikt där viktillägg som inte medför ett betydande ökning i detaljnivå inte kan motiveras. Det här görs för att reducera den totala vikten och ge större marginaler för vikt hos andra komponenter i modellen vars funktion behövs för att illustrera hur den verkliga satelliten fungerar.

På fästeanordningen mellan modellerna av solpanelen och plattformen InnoSat ställs krav på att infästningen måste klara att modellen står stilla, blir buren eller fraktas i bil utan risk för den oavsiktligt bryts. Om solpanelen ska vara möjlig att montera av krävs det att funktionen ej leder till onödig tidsåtgång eller frustration. Krav ställs därför även på hur lång tid som montering skulle få ta och på att ytterligare verktyg ej ska krävas för monteringen där lägsta möjliga tidsåtgång och ansträngning var att eftersträva. Infästningen får inte heller påverka solpanelens visuella uttryck och bör i största möjliga mån döljas och visuellt vara så diskret som möjligt.

4.1.6.3 Övriga komponenter i instrumentet

I tabell 3 följer kravspecifikationen för övriga komponenter i instrumentet

	Funktion	Kriterium	Krav eller önskemål
Huvudfunktion	Produkten representerar originalet	Ge trovärdigt intryck	K
		Liknar originalprodukten	K
		Huvudkomponenterna syns tydligt	K
Nödvändiga funktioner	Övriga komponenter i instrumentet ska kunna fästas med InnoSat	Komponenter fästs permanent i basplattan	K
		Basplattan är försedd med infästningar	K
	Limbinstrumentet ska kunna fästas på basplattan	Basplattan har verkliga mått	K
	Produkten ska kunna hanteras av en person	Väga mindre än 10 kg	K
	Produkten ska kunna transporteras	Tillräcklig hållfasthet	Ö
Önskvärda funktioner	Produkten illustrerar tydligt alla komponenter	Riktig placering av komponenter	Ö
		Hög detaljrikedom	Ö
	Produkten ska kunna repareras	Komponenter går lätt att plocka av	Ö
		Komponenter går att komma åt	K

Tabell 3. Kravspecifikation av Övriga komponenter i instrumentet

Att efterlikna originalmodellen var det viktigaste som erhöles från användarundersökningen. Därför är det ett krav både att modellen ger ett trovärdigt intryck och att den liknar övriga

delar i instrumentet på originalmodellen. Endast originalmodellens synliga delar behöver representeras då de övriga komponenterna i instrumentet ska representera den verkliga modellen. Det som ska fästas på övriga komponenter av instrumentet är plattformen InnoSat samt Limbinstrumentet. Därför är det viktigt att basplattan har verkliga mått vilket underlättar fäste av Limbinstrumentet samt är försedd med infästningar för fäste med plattformen InnoSat. Resterande delar ska vara enligt de mått satelliten har för att likna de övriga komponenterna i instrumentet och därmed ge ett trovärdigt intryck. Eftersom att instrumentet sitter ovanpå plattformen InnoSat, endast är en del av hela modellen och samtidigt ska kunna hanteras av en person får vikten inte överstiga 10 kg. Det är viktigt att de övriga komponenterna har tillräcklig hållfasthet samtidigt som produkten inte får vara för tung. Hållfasthet som är tillräcklig för transport räcker enligt projektgruppens beslut.

4.1.7.4 Limbinstrumentet

Limbinstrumentet var ett av de mer intressanta objekten att presentera, enligt förstudie, och därav sattes högre andra krav jämfört med resterande undergrupper. Tabell 4 visar kravspecifikation för Limbinstrumentet.

	Funktion	Kriterium	Krav eller önskemål
Huvudfunktion	Produkten representerar originalet	Ge trovärdigt intryck	K
		Liknar originalprodukten	K
Nödvändiga funktioner	Produkten ska kunna fästas på InnoSat-plattformen	Vara maximum 160 mm djup	K
		Vara försedd med infästningar	K
	Produkten ska kunna hanteras av en person	Får ej väga mer än 10 kg	Ö
	Produkten ska kunna transporteras	Tillräcklig hållfasthet	Ö
	Produkten ska tåla hantering utifrån instruktioner	God användarvänlighet	Ö
Önskvärda funktioner	Produkten illustrerar ljusstrålarnas gång genom instrumentet	God användarvänlighet	Ö
		Erbjuda insyn	K
	Produkten representerar de komponenter som finns inuti Limbinstrumentet	Hög detaljrikedom	Ö
		Samtliga komponenter ska representeras	K
	Produkten ska kunna repareras	Komponenter fästes temporärt	Ö
		Enkelt att plocka isär	Ö
	Produkten ska medföra en trovärdig känsla	Efterlikna originalet	K
		Hög detaljrikedom	Ö
	Produkten ska visa hur originalinstrumentet är konstruerat	Konstruera utifrån originalets tillverkningsmetoder	Ö
		Medge tillförlitlighet	Ö
	Produkten ska kunna stå ohjälpt	Medge tillförlitlighet	Ö
		Vara väl balanserat	Ö

Tabell 4. Kravspecifikation av Limbinstrumentet

Det ställs både kvantitativa och kvalitativa krav på produkten. Produkten ska till exempel vara maximalt 160 millimeter djup för att få plats mellan solpanelen och övriga komponenter på instrumentet, ett mått taget från befintliga CAD-modeller. Det ställdes krav på insyn för att ge möjlighet att se inre komponenter i Limbinstrumentet. Resultatet från förstudien visade att intressenterna för satelliten MATS önskade att produktens trovärdighet och representation av originalprodukten i form av hög detaljrikedom skulle prioriteras. Det ansågs viktigt nog i

projektgruppen för att definiera det som krav, men då det inte går att mäta på ett enkelt sätt så definierades "hög detaljrikedom" som ett önskemål.

4.2 Designfas

Målet med projektet är att ta fram en prototyp och ett underlag för att tillverka en slutprodukt. Prototypen består som tidigare nämnt utav en stor mängd olika delfunktioner. Ett annat sätt att dela upp produkten på är i delsystem. Delsystemen utgör tillsammans hela produkten och eftersom målet är att uppfylla så många krav som möjligt både för varje delsystem samt för hela systemet så måste de finnas i åtanke redan i designfasen. Därför var det i projektets mening att ta fram koncept på delsystems nivå som uppnår de krav som ställs för respektive delsystem. Varje koncept utvärderades med metoder nämnda i avsnitt 3. Koncepten från delsystemet bakades sedan ihop till ett kombinerat koncept, även kallat slutkoncept, för en helhetslösning. Slutkonceptet utvärderades i sin tur för att hitta vilka krav som eventuellt var motsägelsefulla eller omöjliga att kombinera. Genom att utvärdera slutkonceptet i sin helhet medfördes det att suboptimering undveks.

4.2.1 Brainstorming - generella idéer utanför datainsamling

Brainstorming var den främsta metoden som användes för att generera kvantitativa lösningar och idéer för prototypen. Samtliga medlemmar i projektgruppen samlades och sessionen leddes av en av medlemmarna som agerade både deltagare och ledare.

Efter anvisningar i avsnitt 3 började sessionen med en irrelevant uppgift för att hjälpa deltagarna att tänka i kreativa banor. Därefter bearbetades sex områden relaterade till prototyp- och modellskapande, se bilaga C. För respektive del presenterades och diskuterades ämnet kort så alla var införstådda med målet att brainstorma kring problemet eller ämnet. Det följdes av en 3 minuter lång stund där deltagarna skissade och skrev ner tankar kring problemet eller ämnet. När tiden var slut fick varje deltagare först prata kring sina idéer i tur och ordning för att sedan försöka bygga på varandras idéer. Processen itererades för samtliga områden.

I slutet summerades samtliga idéer till ett *idébibliotek*, se bilaga C, som senare skulle användas för att ta fram koncept i en Morfologisk matris.

4.2.2 Delsystem för satelliten

Delsystemen delades upp utifrån HTA och funktionsanalysen i följande grupper;

- InnoSat
- Solpanel
- Limbinstrumentet
- Övriga komponenter i instrumentet

Eftersom projektgruppen bestod av fyra personer så tilldelades varje gruppmedlem var sitt delsystem att vara ansvarig över. Det gjordes för att på ett så effektivt sätt som möjligt fortsätta arbetet, istället för att varje gruppmedlem skulle ta fram ett eget koncept för varje delsystem. Att vara ansvarig för ett delsystem syftade inte på att allt arbete ska utföras av den ansvariga, utan att ansvarig såg till att arbetet utförs. Oftast så arbetade projektgruppen i grupp om två medlemmar för att utbyta idéer och diskutera om så behövdes.

4.2.3 Konceptgenerering - utifrån Brainstorming och Morfologisk matris

Morfologisk matris användes för generering av olika delkoncept för att kombinera olika dellösningar på delsystemen till ett generellt dokument för den Morfologiska matrisen, som modifierades för respektive delsystem gjordes för att effektivisera processen. Projektets medlemmar utförde därefter en konceptgenerering för sitt delsystem. Respektive konceptgenerering utfördes enskilt för att sedan presenteras för resten av projektgruppen. Det utfördes på det sättet för att snabbt få en bas att diskutera kring och utveckla tillsammans. Samtliga koncept hade lösningar från *idébiblioteket* som grund. Nedan presenteras olika koncept från varje delsystem.

4.2.3.1 InnoSat

Med en morfologisk matris kunde fyra olika koncept för plattformen InnoSat genereras, se bilaga A.2. Den största skillnaden från koncept till koncept är hur insynen i plattformen InnoSat är konstruerad och hur de ingående komponenterna är utformade. Koncept A har en lucka som går att öppna och stänga manuellt på en av sidorna av chassit. Det finns även ett fönster av akryl bakom luckan för att skydda komponenterna från skada både under transport och under utställning. De ingående komponenterna sitter på rätt plats enligt originalet och är permanent fästa. Det ska finnas en lampa som lyser upp komponenterna inuti chassit. För GPS och antenn finns båda och de sitter på utsidan av chassit enligt CAD-modellen från OHB. MLI illustreras genom att täcka chassit i ett representerande material

Koncept B har likt Koncept A en manuell lucka som kan öppnas och stängas, men till skillnad från Koncept A finns det ingen ruta av akryl. I Koncept B finns även handtag under chassit för att förenkla transport av modellen. Alla ingående komponenterna finns i Koncept B, men vissa går att plocka ur för att de enklare skall kunna visas under en presentation. I övrigt är skilljer sig inte Koncept B från Koncept A.

Koncept C skiljer sig från Koncept A med att det endast finns en ruta av akryl som skyddar de ingående komponenterna och ingen lucka. Det gör att modellen inte väger lika mycket och användarvänligheten ökar när det inte finns en lucka som behöver öppnas och stängas. I övrigt skiljer sig inte Koncept C från Koncept A.

Koncept D skiljer sig från alla tidigare koncept då det inte alls går att se in i plattformen InnoSat. Det finns därför inga ingående komponenter förutom en av tre magnetorquers som syns då den sticker ut från chassit. Det finns inte heller någon lampa i chassit av uppenbara skäl. I övrigt skiljer sig inte Koncept D från Koncept A.

För mer detaljer av respektive koncept, se A.2.

4.2.3.2. Solpanel

Då det tidigt beslutades att solpanelen skulle representeras av en modell utan särskild anpassning för att illustrera funktion eller fysiskt fenomen hos den riktiga produkten fokuserade designfasen istället på hur enskilda detaljer skulle lösas.

Det ursprungliga problem som identifierades med solpanelen var hur den skymde sikten när användaren bär på modellen vilket upptäcktes med hjälp av en pappmodell. Den gör även modellen svårare att få ett bra grepp på samt, beroende på det slutgiltiga konceptets vikt, förskjuter tyngdpunkten vilket leder till att användaren tvingas greppa modellen i specifika sidor för att balansera upp den vid bärande. Efter en brainstormingsession kunde de lösningar som ansågs rimliga delas upp i följande kategorier.

1. Befintlig lösning med permanent infästning där användaren måste bära modellen av solpanelen och InnoSat i ett stycke.
2. Lösning som temporärt reducerar panelens skrymmande egenskaper utan att panelen avlägsnas.
3. Lösning där panelen kan avlägsnas för att transporteras separat.

Fortsatt bearbetning av de identifierade lösningsgångarna resulterade i följande tre koncept:

Infästningskoncept A är det ideella konceptet med avseende på realism där den befintliga lösningen från originalet används. Infästning sker med fyra skruvförband genom solpanelen och InnoSats sida med distanser för att ge rätt avstånd mellan de delarna. Skruvförbanden går att öppna igen för att ta loss panelen men processen kräver ett verktyg.

Infästningskoncept B är ett koncept där solpanelen är delad på mitten så att den övre halvan kan avlägsnas för att inte skymma sikten för den som bär modellen. Konceptet började ursprungligen med att den övre halvan var fäst i den undre med någon form av plugg med låsmekanism. Den gick därefter att avlägsna helt och att kunde förvaras i mellanrummet bakom solpanelen och InnoSat. Ett problem identifierades dock med att det eventuellt skulle kräva större förändringar på modellen med någon form av dedikerad hållare för att kunna förvara panelhalvan på det tänkta sättet. Annars riskeras att panelhalvan faller ur när modellen bärs och användaren har båda händerna upptagna. Det skulle kunna medföra permanenta skador på delen och det beslutades att det istället att det var önskvärt att de båda halvorna fäst i varandra med någon form av led eller axel för att undvika problemet.

Infästningskoncept B utvecklades istället till att de två halvorna var hopfästa med gångjärn och den övre halvan gick att fälla för att inte skymma sikten. Det beslutades att om instrumenten skulle gå att montera av vid frakt skulle fällningen ske över InnoSats topp, då den riktningen skulle göra det lättare att dölja gångjärnen och ge en finare skarv. Om inte instrumenten var möjliga att montera av skulle överdelen istället fällas utåt så att solpanelen var dubbelvikt vid frakt.

Infästningskoncept C är konceptet där solpanelen går att montera av för att transporteras separat. Den lösning för konceptet som genast identifierades som enkel och med största likhet verkligheten var att utnyttja den befintliga infästningen men använda tumskravar eller vingmuttrar för att tillåta verktygslös avmontering. Problemet som identifierades med konceptet var tiden det skulle ta att genomföra en montering, att det eventuellt kunde bli svårt att dra åt tillräckligt hårt för att panelen inte skulle uppfattas som ranglig samt att lösningen infattade lösa smådelar som användaren skulle behöva hålla reda på.

Bearbetning av *infästningskoncept C*, med nytt fokus på användarvänlighet, lade grund till beslutet att någon form av skenor med snäppfästen var att föredra för att förenkla montering och eliminera lösa smådelar. Trots att förändringen minskar modellens representativitet skulle lösningen döljas bakom panelen och därför inte påverka modellens utseende nämnvärt förutom när panelen monterats av.

För att ta fram koncept på hur representationer av solcellerna kunde skapas hölls en brainstormingsession kring tre variabler som behövdes bestämmas för att utgöra en lösning:

1. *Materialval*
2. *Bearbetningsmetod för att åstadkomma rätt form*
3. *Bearbetningsmetod för att åstadkomma rätt yta och färg*

De idéer som genererades av processen kombinerades till koncept genom en morfologisk matris, se bilaga A.4 vars resultat sammanställts i tabell 5 nedan:

Solcellskoncept		
A	Material:	Tjock papp
	Bearbetning form:	Sax
	Bearbetning yta:	Spraymåla med svart färg (högblank)
B	Material:	Mörkt tonad akryl
	Bearbetning form:	Laserskärare
	Bearbetning yta:	Spraymåla med spegelfärg
C	Material:	Blanksvart akryl
	Bearbetning form:	Laserskärare
	Bearbetning yta:	Val av material med redan representativt utseende
D	Material:	Spegelakryl
	Bearbetning form:	Såg och slipmaskin
	Bearbetning yta:	Applicera tonad film

Tabell 5. Solcellskoncept

4.2.3.3 Övriga komponenter i instrumentet

En morfologisk matris för de övriga komponenterna i instrumentet skapades, se bilaga A.1. Den innehöll sju huvudgrupper som även är de utgörande komponenterna av produkten; *Basplatta, Nadirinstrumentet, Fotometer, OBC-Låda, Kolfiberstänger, Radiator* och *OBC-Radiator*. Huvudgrupperna består i sin tur av undergrupper, se bilaga A.1, som definierar dess egenskaper, exempelvis *Struktur* och *Material*. Tre koncept skapades utifrån den morfologiska matrisen för att besluta i hur stor grad originalmodellen skulle efterliknas för att med gruppens resurser kunna uppfylla syftet. Tre nivåer av komplexitet skapades och med det tre stycken koncept; *Koncept A*, *Koncept B* och *Koncept C*.

Koncept A kan ses som ett idealt koncept som efterliknar originalmodellen till fullo utifrån kravspecifikationens kriterium. Samtliga komponenter tillverkas med hög detaljrikedom, och de flesta komponenter ska gå att ta av för att i detalj kunna studera. Samtliga komponenter ska efterlikna originalet och bikakestruktur ska användas på alla ytor, även där det inte syns. Det finns ytterligare funktioner som exempelvis att radiatoren är hopfällbar. Tillverkning av konceptet krävs stora resurser, jämfört med resterande koncept, i form av tid, pengar och kompetens i utbyte mot ett resultat som är mycket trovärdigt och likt originalmodellen.

Koncept B är ett balanserat koncept som efterliknar originalmodellen i stort men inte i varje liten detalj. Delar som ansågs vara karaktäristiska för satelliten MATS för varje komponent ska till synes efterlikna originalet men andra mindre utmärkande delar kan förenklas. Ett exempel på det är fotometern. Delen längst ut anses vara karaktäristisk då den är unik till sitt utseende för fotometern i satelliten MATS, samtidigt som dess resterande delar är geometrier som kan återfinnas i många andra komponenter. De karaktäristiska delarna tillverkas i 3D-skrivare medan resterande geometrier förenklas. Bikakestruktur används, men inte där det är

inte syns. Komponenter är inte avtagbara, och inga funktioner som inte är absolut nödvändiga finns. Tillverkning av konceptet kräver mindre resurser i form av tid, pengar och kompetens jämfört med Koncept A, och utbytet är ett mindre trovärdigt resultat.

Koncept C är ett minimalistiskt koncept som efterliknar originalmodellen endast till den grad att det går att förstå vad det representerar. Komponenterna inga komplexa karaktäristiska geometrier men är fortfarande särskiljbara från varandra och går att koppla till originalmodellen, men är förenklade jämfört med de andra koncepten. Ingen bikakestruktur används och även de karaktäristiska delarna av komponenterna är förenklade. Tillverkning av konceptet kräver lite resurser jämfört med de andra koncepten och utbytet är ett resultat som är mindre trovärdigt än de resterande koncepten.

Mer information om koncepten finns i bilaga A.1.

4.2.3.4 Limbinstrumentet

Limbinstrumentets Morfologiska matris bestod av sex huvudgrupper; *Limbhuset*, *Strålar*, *Insyn*, *Speglar*, *Limbbaffel* och *Tillverkningsmetod*. Under varje huvudgrupp fanns ytterligare 23 delfunktioner eller delkomponenter, däribland materialval och fästnanordningar. Till varje delfunktion generades två till sex olika lösningar genom brainstorming, se bilaga A.3.

Koncept A byggde på att göra en förenklad version, där både plast och trä skulle användas. Färgade plaströr skulle användas för att illustrera ljusets fördelning inne i instrumentet. Alla komponenter menades att limmas eller skruvas ihop och skärande bearbetning var den främsta tillverkningstekniken.

Koncept B var tänkt att till skillnad från Koncept A enbart produceras i plast, med additiv tillverkning. Det var för att få en högre detaljrikedom jämfört med Koncept A. Eftersom projektet har tilldelats CAD-modeller skulle de användas för att slippa modulera om satelliten för att kunna skriva ut den i en 3D-skrivare. Koncept B menade även att ha elektroluminiserande tråd istället för plaströr för att illustrera ljusstrålarna. Instrumentet var menat att fästas mot plattformen InnoSat med magneter.

Koncept C är lik Koncept B, men i och med tidsavgränsningar så var tanken att modellen behövde konfigureras och göras enklare. Istället för att ha sex olika strålar till CCD-sensorerna så skulle enbart tre strålar illustreras. Koncept C var menat att ha utbytbara batterier, istället för uppladdningsbart som i Koncept B. Istället för att konstruera om CAD-modellen till att kunna använda skruvförband som fästningsanordningarna i Koncept B, så var tanken att Koncept C skulle limmas ihop. För ytterligare skillnader se bilaga A.3.

4.2.4 Konceptval - med Pughmatris & Kesselrings

När koncept för alla delsystem tagits fram genom att använda Morfologisk matris användes Pugh- och/eller Kesselringsmatriser för att väga koncepten mot varandra. Det medförde att de koncept som var lämpligast för projektet inom varje delsystem kunde hittas.

4.2.4.1 InnoSat

Viktning med Pughmatris resulterade i att Koncept B och Koncept C fick ett positivt utslag. Koncept B fick 3 som nettovärde och Koncept C fick 1. Trots resultatet valdes Koncept C till vidareutveckling och inte Koncept B. Orsaken har att göra med att hållbarheten för Koncept B är mycket lägre vilket inte, på grund av matrisens utformning, ger något större utslag i Pughmatrisen men blir tydligare i Kesselringsmatrisen. Eftersom att det är öppet rakt in i

chassit genom luckan som kan öppnas och stängas kan de ingående komponenterna gå sönder under utställning av modellen. Dessutom är det risk för att vissa ingående komponenter försvinner om de är avtagbara. Med den synvinkeln och extra övertygelse från Kesselringsmatrisen, valdes koncept C ut som det vinnande konceptet och är det koncept som vidareutvecklas. Se bilaga B för mer detaljer kring viktning med Pughmatris och tabell 6 för viktning med Kesselringsmatris.

	Skalär	Ideal		Koncept A		Koncept B		Koncept C		Koncept D	
Funktion	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Ge ett trovärdigt intryck	5	5	25	4	20	4	20	3	15	2	10
Hantering/hållfasthet	4	5	15	3	12	1	4	4	16	4	16
Transporterbar	3	5	15	3	9	4	12	4	12	4	12
Användarvänlig	2	5	10	3	6	3	6	5	10	4	8
Erbjuda insyn	4	5	20	4	16	4	16	4	16	0	0
Reparerbar	1	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
Visar funktionen	4	5	20	4	16	5	20	4	16	0	0
Kostnad	1	5	5	3	3	3	3	3	3	5	5
Tidseffektiv	4	5	20	2	8	3	12	4	16	5	20
Vikt	3	5	15	2	6	3	9	4	12	5	15
	Totalt	50		32		34		39		33	
	Jämfört med ideal	1		0,64		0,68		0,78		0,66	
	Ranordning			3		2		1		4	

Tabell 6. Kesselringsmatris av InnoSat

4.2.4.2 Solpanel

För val av infästningskoncept lämpade poängbaserade värderingsmetoder dåligt då avgörande faktor var slutanvändarens preferenser i hur modellens skulle förflyttas och vilka avvägningar mot huvudfunktionen, *produkten representerar originalet*, som var möjliga att motivera med förbättrad användbarhet.

Avgörande faktor för infästningskoncept A var beställarens åsikter om realism kontra användarvänlighet då konceptet skulle innebära att modellen blir relativt otymplig att bära samt svårare att frakta än i övriga koncept.

Avgörande faktor för infästningskoncept B var igen beställarens åsikter om realism kontra användarvänlighet. I det här fallet skulle någon form av gångjärn behövas för fällmekanismen och även om det skulle gå att dölja skulle solpanelen fortfarande ha en skarv tvärs över vilket inte stämmer överens med verkligheten och i värsta fall skulle kunna tolkas som en funktion som även finns på den verkliga satelliten. Konceptet skulle även kräva att solpanelen gick att låsa i de båda lägena där låsmekanismen skulle bli en stor utmaning att dölja och antagligen påverka modellens realism negativt.

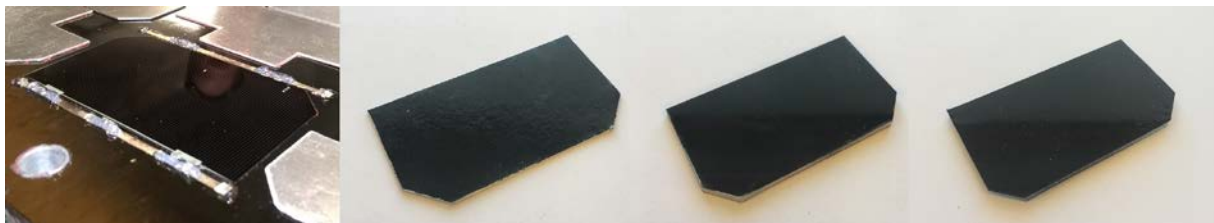
Avgörande faktor för infästningskoncept C var beställarens åsikt kring att bära modellen i delar eller i ett stycke. Skulle beställaren föredra att alltid bära modellen hopmonterad för att kunna ta allt material till presentationsplatsen från bilen i en vända skulle lösningen, som

kräver mer designarbete än koncept A och orsakar utmaningar med ytterligare krav, inte vara lämplig att inkludera. Jämfört med koncept B hade C dock inte haft lika stor påverkan på modellens uttryck och realism då den enbart ersätter den befintliga monteringsanordningen och döljs av panelen när den är ditmonterad.

Beslutet om konceptval togs sen gemensamt med projektets beställare, Ole-Martin Christensen, som såg stort värde i att kunna plocka loss solpanelen vid transport. Valet gjordes därmed av infästningskoncept C vilket även innebar att solpanelen kan avlägsnas vid presentation för att inte skymma instrumentet, något som tillförde ytterligare värde hos funktionen.

För att kunna väga solcellskoncepten mot varandra tillverkades prototyper av respektive koncept så att utfallet kunde jämföras för att avgöra vilken lösning som bäst representerade de verkliga solcellerna. Vid införskaffning av de material som specificerats i koncepten upptäcktes det att solcellskoncept B, med tonad akryl och spegelfärg, skulle bli svårt att genomföra.

Det första problemet var att införskaffa spegelfärg i Sverige. Sprayfärgstillverkare, exempelvis märket *Rust-Oleum*, har spegelfärger i sitt produktutbud men det var inte möjligt att hitta en svensk återförsäljare med produkten i sitt sortiment och det är få internetbutiker som skickar sprayfärg med internationell frakt. Det var dessutom svårt att hitta en tonad akrylplast tillräckligt mörk för att likna solcellerna och det beslutades därför att solcellskoncept B behövde strykas. En bild på en verklig solcell erhöles från Robin Lilja på OHB Sweden AB vilken användes som jämförelse. Utfallet från testen av de resterande koncepten visas nedan i figur 20 med tillhörande kommentarer:



Figur 20 - F.r vänster, verklig solcell, solcellsskoncept A, solcellsskoncept B, solcellsskoncept C och solcellsskoncept D

Den papp som valdes till solcellskoncept A var en mycket tunn kartongpapp med en blank bestruken sida som lämpade sig bra till att sprayamåla då ytan blev jämn och blank, dock inte tillräckligt för att ge skarpa reflektioner. Solcellens form var lätt att återskapa med en skarp sax och test av skärande bearbetning skadade kanterna. Kanterna målades med en silvrig spritpenna för att likna originalet men då materialet var så tunt var det mycket svårt att inte oavsiktligt smeta silverfärg på den svartmålade ytan.

Den svarta akryl som fanns i verkstadens materialförråd var matt och istället införskaffades till solcellskoncept C blanksvarta akrylskivor för att bättre efterlikna originalets yta. Det var mycket svårt att avgöra glansnivå från produktbilder på internet men den högblanka svarta 3mm akryl som införskaffades visade sig vara nästintill spegelblank. Laserskäraren gav mycket fina och precisa kanter och prototypen målades likt för solcellskoncept A med silverpenna vilket var betydligt lättare när det fanns en kant att vila pennans spets mot.

Då det var oklart om spegelakrylen till solcellskoncept D var möjlig att laserskära använde konceptet istället bandsåg och slipmaskin för att bearbeta materialet till solcellens form. En solfilm med 10% ljusgenomsläpp, ursprungligen menad för applikation på bilrutor,

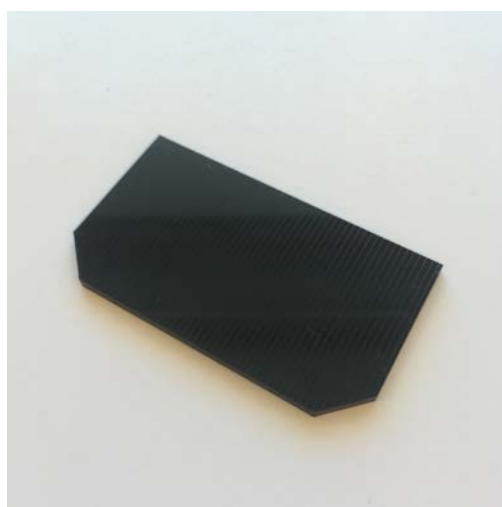
införskaffades men den visade sig svår att fixera på akrylen då den egentligen var menad för glas och det dåliga resultatet ledde till en försämrad ytfinish och representativitet.

När prototyperna skapats kunde slutligen de tre konceptens utfall vägas mot varandra för att möjliggöra ett konceptval vilket gjordes i en Kesselringmatris visad i tabell 7 nedan:

	Skalär	Ideal		Solcells-koncept A		Solcells-koncept C		Solcellskoncept D	
Funktion	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Representativitet	5	5	25	3	15	4	20	3	15
Slitagebeständighet	3	5	15	2	6	4	12	4	12
Vikt	2	5	15	5	10	3	6	3	6
Tidseffektiv tillverkningsprocess	2	5	5	3	6	5	10	1	2
Kostnadsmässig rimlighet	1	5	5	5	5	4	4	3	3
	Totalt	65		42		52		38	
	Jämfört med ideal	1		0.64		0.8		0.58	
	Rangordning			2		1		3	

Tabell 7. Kesselringmatris av Solcellskoncept

Resultatet med vinnande solcellskoncept C berodde framförallt på det representativa utseendet den och den exakthet som var möjlig uppnå med laserskäraren. Att materialet redan hade rätt färg och glans medförde både att tillverkningen blev enklare och att det, till skillnad från i solcellskoncept A, inte finns någon pålagd ytbehandling som riskerar att slitas med tiden. Vidare experimentering med tillverkningsmetoden gav en itererad lösning där det upptäcktes att solcellens ytelektroder gick att återskapa i akrylplasten. Det här genom att gravera in ränder i den vilket gav ett mycket verklighetstroget resultat. Det ytterligare arbetet för att nå den ökade graden av detaljnivå medför dock en betydande ökning i tidsåtgång för skärprocessen. Prototypcellen för det itererade konceptet visas nedan i figur 21.



Figur 21 - Bild på prototypcell

4.2.4.3 Övriga komponenter i instrumentet

De framtagna koncepten från konceptgenereringen sattes in i en Kesselringmatris baserat på åtta kriterier se tabell 8 tagna ur Övriga komponenter i instrumentets kravspecifikation.

	Skalär	Ideal		Koncept A		Koncept B		Koncept C	
Funktion	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Intryck av trovärdighet	5	5	25	5	25	4	20	1	5
Hållfasthet	3	5	15	3	9	4	12	5	15
Transporterbarhet	3	5	15	4	12	3	9	2	6
Reparerbarhet	1	5	5	5	5	3	3	2	2
Kostnad	1	5	5	2	2	4	4	5	5
Tidseffektivitet	4	5	20	1	4	4	16	2	8
Vikt	3	5	15	3	9	4	12	5	15
	Totalt	100		66		76		56	
	Jämfört med ideal	1		0,66		0,76		0,56	
	Rangordning			2		1		3	

Tabell 8. Kessleringsmatris av Övriga komponenter i instrumentet

I tabell 8 kan rangordningen på koncepten utläsas, där Koncept B kom först, Koncept A i mitten och Koncept 3 sist. Det viktigaste kriteriet är *Intryck av trovärdighet*, eftersom det i stort sett är huvudfunktionen, följt av tidseffektivitet (resultat i förhållande till nedlagda tid) då det är viktigt att använda projektgruppens resurser väl i och med att de är begränsade. De två kriterier är dessutom dem för vilka koncepten skiljer sig åt mycket.

Koncept A som i teorin är det ideala konceptet har högst poäng på det viktigaste kriteriet då varje detalj har jobbat på, men är samtidigt låg poäng på tidseffektivitet då väldigt mycket tid läggs ned på små detaljer som inte kommer att öka intrycket av trovärdighet avsevärt mycket mer än hos Koncept B som samtidigt är mycket mer tidseffektivt. Koncept C har ett mycket lågt intryck av trovärdighet och är samtidigt relativt tidsineffektivt då en del tid fortfarande kommer att behövas läggas ned men med ett icke trovärdigt intryck som resultat, vilket ger Koncept C bottenbetyg. Resterande kriterier är av lägre betydelse samtidigt som graden av dess uppfyllelse är snarlik för koncepten vilket gör att de inte är avgörande för ett konceptval.

Ur konceptvalet erhöles Koncept B, vilket ses som ett rimligt resultat då det uppfyller huvudfunktionen väl men samtidigt är inom ramarna för gruppens resurser.

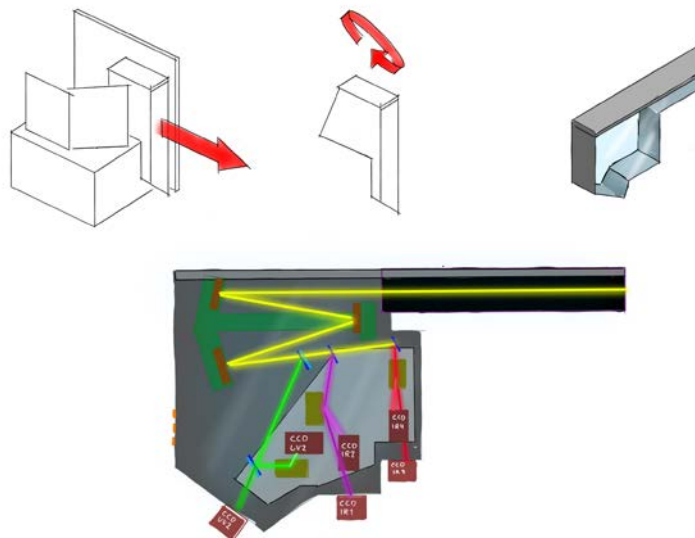
4.2.4.4 Limbinstrumentet

Koncepten på Limbinstrumentet utvärderades utifrån delar av Limbinstrumentets kravspecifikation i en Kesselringmatris. Resultatet illustreras i tabell 9 nedan.

	Skalär	Ideal		Koncept A		Koncept B		Koncept C	
Funktion	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Ge ett trovärdigt intryck	5	5	25	2	10	4	20	4	20
Hantering/hållfasthet	3	5	15	4	12	3	9	3	9
Transporterbar	3	5	15	4	12	3	9	3	9
Användarvänlig	2	5	10	2	4	4	8	4	8
Erbjuda insyn	4	5	20	3	12	4	16	4	16
Reparerbar	1	5	5	1	1	4	4	3	3
Visar funktionen	4	5	20	2	8	5	20	5	20
Kostnad	1	5	5	4	4	2	2	4	4
Tidseffektiv	4	5	20	5	20	2	8	4	16
Vikt	3	5	15	3	9	2	6	3	9
	Totalt	150		92		102		114	
	Jämfört med ideal	1		0,6133333333		0,68		0,76	
	Ranordning			3		2		1	

Tabell 9. Kesselringsmatris av Limbinstrumentet

Enligt resultat ifrån tabell 9 kan det utläsas att Koncept C är det som har högst poäng och därav främst i rangordningen. Skillnaden mellan Koncept C och Koncept B är relativt liten, vilket indikerar på att det inte nödvändigtvis behöver vara mest lämpligt att välja Koncept C. Därför bör det tittas på vilka av de mest kritiska funktionerna som uppfylls. Ur tabellen går då att utläsa att *Ge ett trovärdigt intryck*, *Visar funktionen*, *Tidseffektiv* samt *Erbjuda insyn* är de kritiska funktionerna. Koncept B anses lättare att reparera än C, men Koncept C har högre poäng än Koncept B på *Tidseffektiv*. Eftersom projektet har en stram tidsbegränsning anser projektgruppen att Koncept C är bättre lämpat för projektet. Kesselringsmatrisen låg även till grund för att vidareutveckla konceptet ytterligare senare i projektet. Nedan i figur 22 illustreras valt koncept.



Figur 22 – Illustration av Limbinstrumentets konceptval

4.2.4.5 Hela produkten

Konceptvalet av hela produkten gjordes genom att lägga ihop samtliga framtagna konceptval från InnoSat, Limbinstrumentet, Solpanelen och Övriga komponenter i instrumentet till ett koncept för hela produkten. Hela produkten består av Koncept C från InnoSat, Koncept C från Solpanelen, Koncept B från Övriga komponenter i instrumentet och Koncept C från Limbinstrumentet.

4.3 Konstruktionsfas

Konstruktionsfasen är den tredje av projektets faser. Koncepten för delsystemen och därmed helhetskonceptet kommer i den här fasen att konstrueras. Beroende på vilket koncept så kommer CAD, 3D-skrivare, laserskärare och verkstadens alla maskiner användas. Här kommer även inköpslistor redogöras för att få en överblick på vad som behövdes köpas in. Konstruktionsfasen syftar inte bara på att tillverka en prototyp utan även att vidareutveckla och förädla konceptet till en färdig prototyp. Samtliga delsystem omkonstrueras för valda tillverkningsmetoder, för att sedan kopplas samman till en komplett prototyp.

Resultatet från konstruktionsfasen kommer inte vara en färdig presentationsmodell, utan en prototyp som illustrerar projektets förslag på hur den kan konstrueras. Nästa fas, utvärderingsfasen, kommer utvärdera den framtagna prototypen för att ge plats åt eventuell iteration.

4.3.1 InnoSat

Innan konstruktionen skapades en CAD-modell och tillhörande ritningar. Konstruktionen av InnoSat bestod av tillverkning av chassi, ingående komponenter och infästningar för solpanelen och basplattan. Under tillverkningen av chassit och infästningar togs stor hänsyn till hållfasthet och under tillverkningen av de ingående komponenterna togs det istället hänsyn till utseende och detaljrikedom.

4.3.1.1 En första visualisering av InnoSats koncept

En prototyp i skala 1:3 skapades för att visualisera det valda konceptet och testa tillverkningsmetoder. Prototypen omfattar både chassit på InnoSat och solpanelen. Materialet är främst tillverkad i björkplywood med tjockleken *4 mm* och med ett fönster av transparent akrylplast. Solpanelen är tillverkad utskurna bitar av svart akryl och fästa på en plywoodskiva som är inlindad i metallfolie.

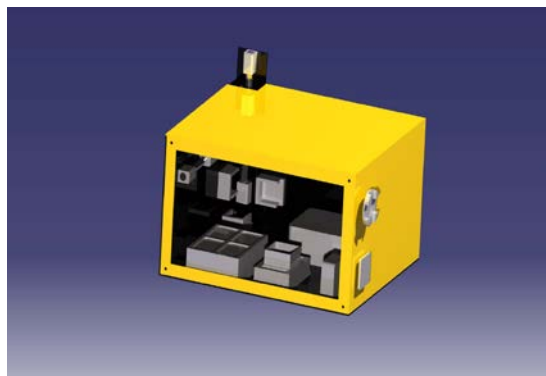


Figur 23 - Prototyp av InnoSat med skala 1:3

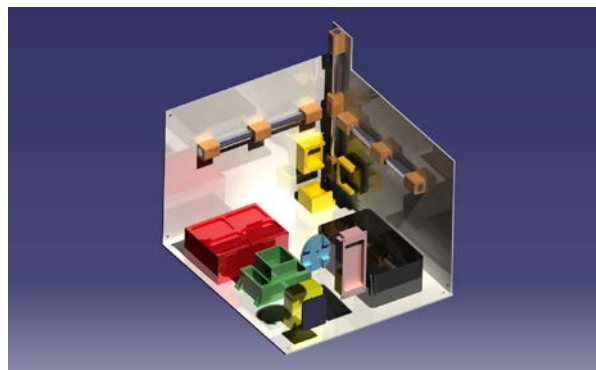
Prototypen, se figur 23, gjorde att konceptet kunde visualiseras för projektets intressenter och bidra med att ge en överblick på hur slutresultatet skulle bli.

4.3.1.2 Konstruktion och tillverkning av plattformen InnoSat

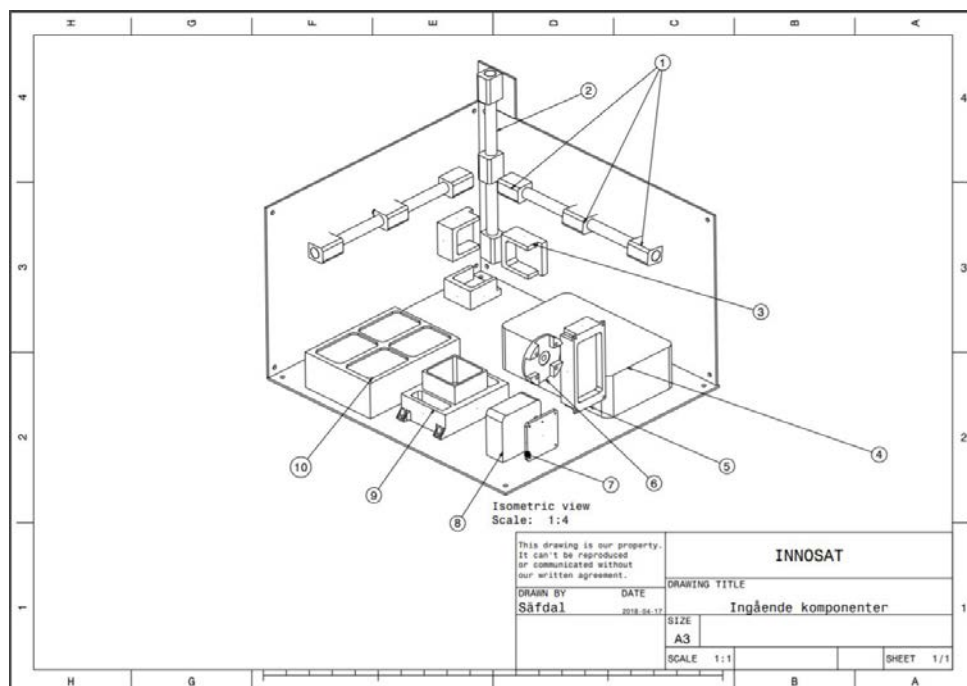
Hela konceptet med ingående komponenter konstruerades i CAD, se figur 24. Figur 25 visar de olika komponenterna i InnoSat i olika färger för att det skulle vara enkelt att urskilja komponenterna från varandra. Figur 26 och tabell 10 beskriver vilken komponent som är vilken.



Figur 24 - Rendering av plattformen InnoSat



Figur 25 - Rendering av inre komponenter i InnoSat



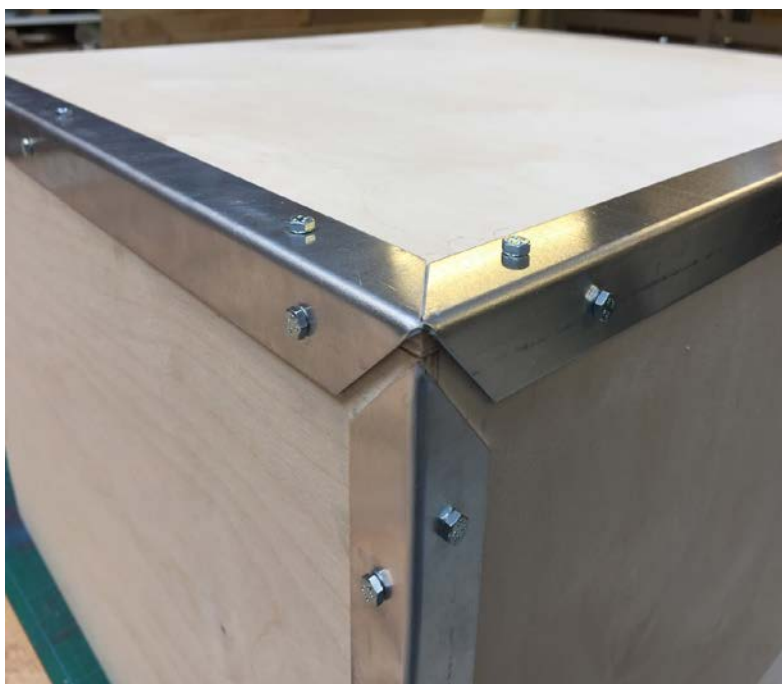
Figur 26 - Sammanställningsritning av InnoSat

1	Magnetorquerfäste
2	Magnetorquer
3	Reaktionshjul
4	Modulär processering och kontroll & displayenhet
5	GPS-mottagare
6	GPS
7	Antenn
8	Omborddator
9	S-bandradio
10	Batteri

Tabell 10. Lista på delar i figur 26

Till varje del skapades ritningar som underlag till tillverkningen. Från början var planen att använda 4 millimeter tjock plywood till sidorna. Efter konsultation med handledare togs beslutet att istället bygga i 6 millimeter tjock plywood för att säkerställa hållfastheten av chassit. Hela chassit förutom framsidan sågades ut i bitar med hjälp av en bandsåg. Tillsammans med handledare beslöts det att chassit skulle monteras i med hjälp av bockade aluminiumvinklar som skruvades fast på chassits alla delar från utsidan, se figur 27 När chassit var färdigkonstruerat borrades infästningar för solpanel på motsatt sida från rutan och infästningar för basplattan borrades på toppen. Till båda infästningar användes skruvförband med gängtyp M6. Mellan basplatta och chassits topp användes gängade distanser.

Aluminiumvinklarna, se figur X mättes för att passa på chassits kanter och genom att klippa av kanterna i 45 graders vinkel gick vinklarna ihop i hörnen och bidrog till en hög hållfasthet. Varje sida av vinklarna har tre hål för att fästa dem på sidorna med skruvförband med gängtyp M4.



Figur 27 - Vinklar fastskruvade på chassi

Sidan av chassit där rutan för insyn sitter skars ut i laserskäraren i 4 millimeter tjock björkplywood. Flertalet hål borrades i både plywooden och rutan av akrylplast. Skruvförband användes för montering av rutan, se figur 28. En handbormaskin användes istället för en pelarbormaskin för att kunna borra genom rutan av akryl utan att skada den. Rutan av akrylplast monterades på chassit med hjälp av skruvförband med gängtyp M4.



Figur 28 - Bild på skruvförband av ruta och chassi

Insidan av chassit målades, var sida för sig, i två lager med sprayfärg *Montana Silver Chrome* för att få en aluminiumliknande ytfinish. Därefter monterades hela chassit och stabiliteten testades. Aluminiumvinklarna bidrog med att chassit blev stabilt och enkelt att bära. Efter testerna täcktes chassit med en guldfärgad överlevnadsfilt som representerade *MLI*. Den fästes genom att tejpa fast den direkt på chassit med dubbelhäftande tejp.

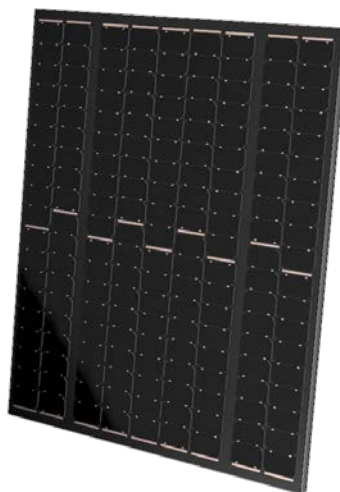
Magnitorquers tillverkades genom att såga av rör av materialet polyvinylklorid, PVC, och klä dem i koppartejp. Nio fästen sågades ut i bandsåg och hyvlades i maskin för att få korrekt form. Hål svarvades i dem för att kunna trä på PVC-rören. Mittenfästena svarvades rakt igenom men i kantfästena sparades några millimeter. Alla fästen målades med samma sprayfärg som chassit. Till sist limmades de på sina respektive platser på insidan av chassit.

Reaktionshjulen, GPS-mottagare, antenner, el-central, batteri, S-bandradio och omborddator gjordes helt och hållet med hjälp av laserskärning. GPS-mottagaren gjordes delvis med hjälp av laserskärning och delvis i verkstad med ytterligare verktyg. Alla komponenter som skulle skäras ut förutom antennen var tredimensionella konstruktioner och därför byggdes komponenterna ihop av flera stycken utskurna skivor. Laserskärningen sparade inte bara tid utan även vikt i jämförelse med att tillverka komponenterna i solida träblock.

Komponenterna limmades ihop och målades i de färger som visades i figur X. Omborddatorn målades gul, reaktionshjulen målades guldiga och både GPS-mottagaren och S-bandradion målades svarta. Resten av komponenterna i chassit målades i en annan grå färg än väggarna för att de skulle synas bättre men samtidigt inte ta fokus från de andra komponenterna. GPS-mottagare och antenner målades med samma färg som chassit målades med.

4.3.2 Solpanel

När en ursprunglig designlösning för modellen av solpanelen färdigställdes modellerades den i CAD då de CAD-modeller som erhöles från OHB Sweden var av för hög komplexitet för att kunna återanvändas på ett effektivt sätt. CAD-modellen användes främst för måttsättning och visas nedan i figur 29. Under tillverkningen av prototypen upptäcktes problem med lösningar och ny information tillkom från projektets kontakter på OHB Sweden vilket ledde till iteration av konstruktionsunderlaget.



Figur 29 - Rendering av skapad CAD-modell

4.3.2.1 Infästning

Vid val av infästning fanns först på att konstruera egna skenor men då en pålitlig och slittålig låsmekanism med snäppfunktion skulle ta tid att utforma var det rimligare att köpa in en färdig lösning. Då många av de färdiga skenor som gick att beställa från återförsäljare var onödigt dyra för projektet valdes istället ett *VESA-fäste* (Video Electronics Standards Association) avsett för plattskärmar. Det lämpade sig väl för syftet då det utformats för att fungera i situationer där en större panel behöver monteras på en plan yta och är utrustat för de utmaningar som uppstår i situationen. Fjäderspända hakar håller fast panelen på en skena vilka lossas genom att dra i snören så att användaren inte behöver få plats med händerna mellan de två ytorna för att komma åt och lossa mekanismen.

För prototypen valdes det billigaste fäste som uppfyllde krav på realism i mån av fästets dimensioner, vilka avgjorde storleken på avståndet mellan solpanelen och InnoSats baksidor, samt bärförmåga. Resultatet blev modell ASTVMA165 från Arkitect vilket visas i figur 31 nedan. Enligt produktbeskrivningen håller fästet för tyngd upp till 20 kg och mäter 18 mm mellan de förspända ytorna, vilket ansågs ligga inom de krav som ställts.

VESA-fästen säljs med skruv som ska skruvas i färdiga gängor i skärmens baksida vilket skulle innebära ett behov av muttrar på solpanelens framsida. Därav köptes istället försänkta skruvar och muttrar med M6 gängning, figur 30, för att dölja skruvarna under solcellerna.



Figur 30 - Skruvar som köptes löst

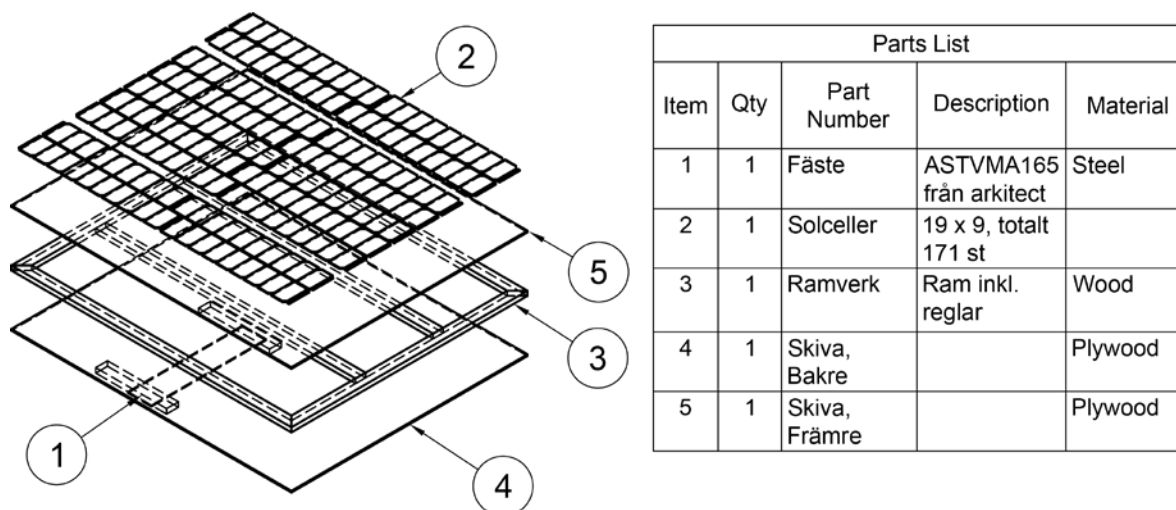


Figur 31 - arkitect ASTVMA165

4.3.2.2 Panelen

Panelen solcellerna monteras på mäter i verkligheten 830 mm x 700 mm x 22,1 mm. Då noggrannheten hos panelens tjocklek har låg betydelse för betraktarens intryck jämfört med

höjd och bredd, vilka spänner upp satellitens yttermått i två riktningar, var det först planerat att reducera den för att minska modellens vikt. Tidigt i materialinförskaffningsprocessen konstaterades det att även den tunnaste skiva med tillräcklig styvhet för att gå att använda som panel var tyngre än önskat. Det beslutades att panelen istället skulle behöva vara ihålig och tjockleken bestämdes till 21 mm då den inte längre fick lika stor påverkan på vikten. CAD-ritningen justerades för att ta det i hänsyn och det beslutades att panelen skulle konstrueras av ett ramverk i trä med tunna plywoodskivor på vardera sida. Den itererade ritningen visas nedan i figur 32.



Figur 32 - Sammanställningsritning av Solcellspanel

Till skivorna valdes en 4 mm tjock björkplywood för dess fina yta vilken underlättar senare under arbetet när panelen ska målas. För ramverket togs material från verkstaden där verkstadspersonal hjälpte till att hyvla ner ett trästycke till ribbor med tvärsnittet 30 mm x 13 mm. Måtten valdes för att ge panelen rätt tjocklek och tillräcklig bredd för att erbjuda bra kontaktyta för lim samt möjlighet att skruva och borra i utan risk för att träet spricker.

De plywoodskivor som införskaffats hade måtten 760 mm x 760 mm vilket innebar att panelens höjd på 830 mm inte gick att nå utan att skarva två plywoodbitar. Skivorna kapades ner till 700 mm bredd med en bordssåg och då måtten precis inte räckte till blev prototypens 820 mm istället. Skillnaden på 10 mm mot konstruktionsunderlaget troddes inte få någon större påverkan på prototypens validitet då den får marginell påverkan på vikt och hållfasthet. Ramverket mättes ut och ribborna kortades ner till rätt längd med en kapsåg där ribbor till den yttre ramen fick 45 graders snitt för att kunna passa ihop utan skarvar längs panelens ytterkant. Ramverket fixerades mot plywoodstyckena med trälim visat i figur 33 nedan. Innan den motsatta plywoodskivan limmades på mättes hål utför de skruvförband som skulle fixera VESA-fästet mot solpanelen och förborrades, visat i figur 34, så att det gick att bestämma var hålen hamnade i reglarna.



Figur 33 - Limning av ramverk och panelens sida



Figur 34 - Förborrning för infästning

Den andra plywoodskivan fixerades därefter med trälim på samma sätt som den första, visat i figur 35 nedan, och när limmet torkat borrades hålen klarat så att de gick genom båda panelens sidor. Plywooden runt hålen på panelens framsida snyggades sedan till med fil så att toppen på de försänkta skruvarna hamnade i linje med panelens yta. Fästets position på solpanelen används sen för att avgöra var skenan för upphängning skulle monteras på modellen av InnoSat så att de båda delarnas undersidor hamnade i linje vilket visas i figur 36. För att skruva fast skenan användes de skruv som fästet såldes med.



Figur 35 - limning av panelens andra sida



Figur 36 - Solpanelen monteras på InnoSat

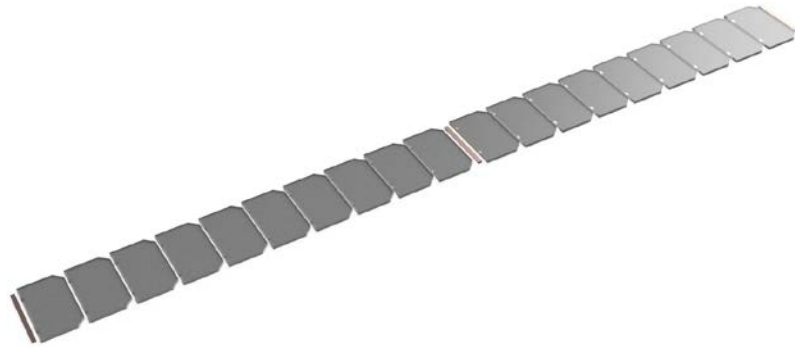
4.3.2.3 Målning

Den verkliga solpanelen är en *smörgåspanel*, se 2.3.2.2. som utgörs av en aluminiumkärna och två kolfiberskivor täckta av en tunn *kaptonfilm* vilket är en värmeisolerande plast. Den originalpanelen tejpas dock med en svart kaptontejp längs kanterna för att skydda kärnan men det valdes att ändå representera aluminiumet i modellen. Det här gjordes då färgen bryter upp den annars helt svarta panelen samt ger en ledtråd till panelens inre uppbyggnad vilket kan leda till diskussion vilket ses som en funktion som kan ge ytterligare värde till modellen.

Plywooden slipades ner med slipmaskin för att ge en jämnare yta att måla på och på så sätt bättre återskapa den blanka kaptonfilmen med sprayfärg. Panelens kanter spraymålades först med färgen *Montana Gold Chrome-Silver* och maskerades med tejp varpå resten av modellen målades i *Montana Gold Black*

4.3.2.4 Solceller & Busars

Solpanel på MATS har nio kolumner, kallade serier, med 19 solceller vardera vilket illustreras i i figur 37 nedan. Varje solcell har på långsidorna kopparbleck kallade *Busbars* för att sluta kretsen med nästa solcell i serien som blottas för den första och sista solcellen i serien. På solpanelen finns det även en synlig *Busbar* i mitten av varje serie.



Figur 37 - Rendering av solcellsserie med busbars

Den blanksvarta akrylplasten som ansågs mest representativ för solcellerna skars upp i bitar med dimensionerna 67 mm x 38 mm och med 45 graders vinklar i hörnen på ena långsidan. De akrylark som köptes hade dimensionerna 500 mm x 500 mm och kapades med en bordssåg för att få plats på laserskärarens bädd vilken mätte 640 mm x 460 mm. En vektorfil för utskärningsmönstret gjordes med marginaler mellan varje cell då det försäkrade ett bra resultat och endast reducerade antalet bitar som fick plats att skäras ut ur varje ark akryl från 66 st. till 60 st.

Då det var lång väntetid för att få tillgång till laserskärare togs det hjälp från en klasskamrat med tillstånd att använda den för att göra utskärningen. Det konstaterades under konceptstadiet, se 4.2.4.2, att det med laserskäraren var möjligt att gravera akrylplastens yta med ränder för att efterlikna solpanelens ytelektroner. Då den här metoden tog ungefär 2 minuter per solcell hade det medfört en ytterligare tidsåtgång på över 5 timmar för alla 171 solceller vilket klasskamraten tyvärr inte hade tid för. Solcellerna på prototypen behövde därför lämnas blanksvarta utan gravyr.

Ett superlim med härdningstid valdes för att fixera akrylbitarna mot plywooden på panelen då det tillät att bitarnas position kunde justeras för att få rätt avstånd mellan solcellerna och så att solcellerna i varje sträng kunde justeras till en rak linje i efterhand. En testlimning gjordes först med två spillbitar av akryl och plywood för att kontrollera att limmet fäste tillräckligt bra på de båda materialen och efter ett positivt resultat limmades akrylbitarna på. Representationer av busbars gjordes med utskurna bitar koppartejp vilka sedan fixerades på panelen.

4.3.3 Övriga komponenter i instrumentet

Efter att konceptvalet gjordes för övriga komponenter i instrumentet användes CAD-modellerna erhållna från Omnisys Instruments och OHB Sweden, vilka förenklades, se bilagor E.3 och E.2, för att stämma överens med konceptet, som är en simplare variant av

modellen. Ritningar gjordes sedan baserat på CAD-modellen för de komponenter som skulle laserskäras, se bilagor E.4 till och med E.8 samt för basplattan, se bilaga E.1. Åt de delar som skulle skrivas ut i 3D-skrivare gjordes separata parter från CAD-modellen som gjordes om till .stl-filformat och sedan skrevs ut i 3D-skrivare. För renderad bild samt ritning av CAD-modellen till övriga komponenter i instrumentet, se bilagor E.2, E.3 samt E.9. För de komponenter med enkla geometrier användes inga ritningar utan måtten från mättningsfunktionen i CAD-modellen antecknades.

4.3.3.1 Basplattan

Basplattan är i originalet gjord av aluminium. Målet med basplattan var att efterlikna originalet men samtidigt vara lätt. Det utfördes genom att välja björkplywood, då det är ett material som är slitstarkt, lätt att bearbeta och väger lite. Den riktiga basplattan är gjord av två identiska skivor med cirka 11 millimeter tjocklek men prototypen valdes att istället göras med två stycken 6 millimeter tjocka skivor. Det var de finaste plywoodskivor som fanns tillgängliga i verkstaden, samt de med mest lämpliga mått. Övriga komponenter i instrumentet som är gjorda i plywood tillverkades i 4 millimeter tjocklek då de flesta bearbetades i laserskäraren, och eftersom respektive komponent är tjockare i verkligheten så blir proportionerna fortfarande likvärdiga med den i prototypen tunnare basplattan, vilket är i linje med kravet att prototypen endast behöver se verklig ut. De två skivorna limmades ihop med trälim och sattes sedan i press, se figur 38.



Figur 38 - Skivor som satts i press

Att göra på det här sättet sparade mycket tid och minimerade antalet ingående komponenter för basplattan då skruvar inte behövde användas för att fästa plattorna. Med den här metoden krävdes inte heller en avancerad ihållig profil som är mellan de två plattorna i den verkliga modellen vilket även sparade mycket tid och resurser.

Slutligen ritades basplattans profil in på de hoplimmade plywoodskivorna, se figur 39, utifrån en utskriven CAD-ritning, se bilaga E.1 från originalmodellen. Först sågades basplattan ut utifrån dess längsta mått i en bordssåg och sedan användes en bandsåg för att detaljerat ur den återstående biten skära ut basplattans exakta profil. Basplattan sprayades med Montana Chrome Silver för att likna aluminium. För detaljerad bild på basplattan, se bilagor E.2, E.3 samt E.9



Figur 39 - Basplattans profil ritad på plywoodskivorna

4.3.3.2 Kolfiberstänger

Den riktiga CAD-modellen användes som utgångspunkt så att de exakta måtten kunde användas för att efterlikna kolfiberstängerna i originalmodellen. VP-rör användes istället för kolfiber för att spara pengar och kläddes med vinylfilm av kolfibermönster för att likna kolfibermaterial. Fästanordningar till kolfiberstängerna skrevs ut i 3D-skrivare, för att efterlikna originalets geometri och sprayades med *Montana Chrome Silver* för att likna stålfästen. De fästen som skulle fästas i VP-rören blev något för tjocka i utskriften och slipades lätt för att passa in och kunde med visst motstånd skruvas in rören vilket säkrade fästena. Ytterfästena skruvades fast i basplattan samt i OBC-Radiatorn. Endast två av tre kolfiberstänger valdes att tillverkas på grund av att Limbinstrumentet skulle gå att lätt ta av från instrumentet. (Den tredje stängen höll Limbinstrumentet på plats). För detaljerad bild på kolfiberstängerna, se bilagor E.2, E.3 samt E.9

4.3.3.3 OBC-Radiator

OBC-Radiatorn är originellt i aluminium men tillverkades istället i björkplywood i 4 millimeter för att spara pengar, väga lite samt möjliggöra enkel bearbetning i laserskärare. OBC-Radiatorns profil skars ut i laserskäraren baserat på måtten i CAD-ritningen, tillsammans med bikakestrukturen. Den sprayades sedan i *Montana Chrome Silver* för att likna aluminium och skruvades sedan fast i basplattan. För detaljerad bild på OBC-Radiatorn, se bilagor E.2, E.3 samt E.9

4.3.3.4 Radiator

Radiatorn består av fyra triangulära delar. Samtliga valdes att göras i björkplywood i 4 millimeter för att spara pengar, väga lite samt möjliggöra för enkel bearbetning i laserskärare. Tre av de fyra delarna har synlig bikakestruktur, och därför valdes det att endast de tre skulle bearbetas i laserskäraren, där både deras profil samt bikakestrukturen samtidigt skars ut. Den sista delen skars ut i bandsågen. Måtten på profilerna togs från ritningar av riktiga CAD-modellen och delarna sprayades med *Montana Chrome Silver* för att efterlikna aluminium.

Delarna skruvades först ihop och sedan fast i basplattan. För detaljerad bild på radiatorn, se bilagor E.2, E.3 samt E.9.

4.3.3.5 Fotometer

Fotometern består av två likadana instrument som vardera delades in i tre delar under konstruktionsfasen. Rektangulära, cylindriska och den karaktäristiska delen, där den karaktäristiska delen är vad som kännetecknar fotometern. Den rektangulära delen tillverkades i björkplywood av 6 skivor av varierande form med 4 millimeter tjocklek, och VP-rör användes för den cylindriska delen som sedan tillsammans med den rektangulära delen sprayades med *Montana Chrome Silver* för att likna aluminium. Den karaktäristiska delen tillsammans två hållare skrevs ut i 3D-skrivare, då de var den viktigaste att avbilda korrekt för att ge ett trovärdigt intryck och efterlikna fotometern. De sprayades sedan också i *Montana Chrome Silver*. För detaljerad bild på fotometern, se bilagor E.2, E.3 samt E.9

4.3.3.6 Nadirinstrumentet

Nadirinstrumentet delades in i två delar under konstruktionsfasen. Hållare och karaktäristisk del, där den karaktäristiska delen är vad som kännetecknar instrumentet. Den karaktäristiska delen tillsammans med hållaren skrevs ut i 3D-skrivare och sprayades i *Montana Chrome Silver* utifrån den riktiga CAD-modellen då den karaktäristiska delen var den viktigaste att avbilda korrekt för att ge ett trovärdigt intryck och efterlikna instrumentet. Hållaren hade varit svår att efterlikna i en förenklad geometri. För detaljerad bild på Nadirinstrumentet, se bilagor E.2, E.3 samt E.9

4.3.3.7 OBC-Låda

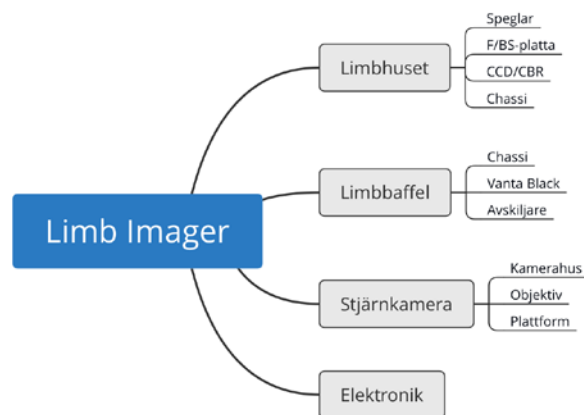
OBC-Lådan består av en undre del och en övre del. Den undre delen är rektangulär och består av sex stycken plywoodskivor som alla tillverkades i 4 millimeter björkplywood, och där framsidan bearbetades i laserskäraren för att få till bikakestruktur men inte baksidan som på den verkliga modellen då den är ytterst svår att se. På vänstersidan av lådan sitter 10 uttag, där sex uttag köptes in av typen *D-sub för lödning*, se figur 40, från Kjell, och resterande erhöles från verkstaden. Uppe på lådan sitter tre mindre lådor som också tillverkades med björkplywood, vilka även de har uttag av samma typ från Kjell. Samtliga delar sprayades i *Montana Chrome Silver* för att likna aluminium. Rektangulära hål laserskars på skivorna där uttagen skulle sitta för att möjliggöra deras montering och de skruvades sedan fast. Slutligen limmades samtliga plywoodskivor ihop. För detaljerad bild på OBC-Lådan, se bilagor E.2, E.3 samt E.9



Figur 40 - D-sub för lödning från Kjell.

4.3.4 Limbinstrumentet

Tidigare delades delsystemet Limbinstrumentet in i tre grupper med sammanlagt tio undergrupper. Enligt konceptet bestämdes att Limbinstrumentets funktion skulle illustreras via ljus, till exempel elektroluminiserande tråd, och därför tillkom ytterligare en grupp Elektronik med fyra undergrupper och Limbbaffelns undergrupper justerades enligt figur 41. Följaktligen kommer konstruktionsprocessen beskrivas i vilka metoder och material som används, vilka problem som uppstod, vilka åtgärder som gjordes samt resultatet av konstruktionen.



Figur 41 - Indelning av Limbinstrumentet

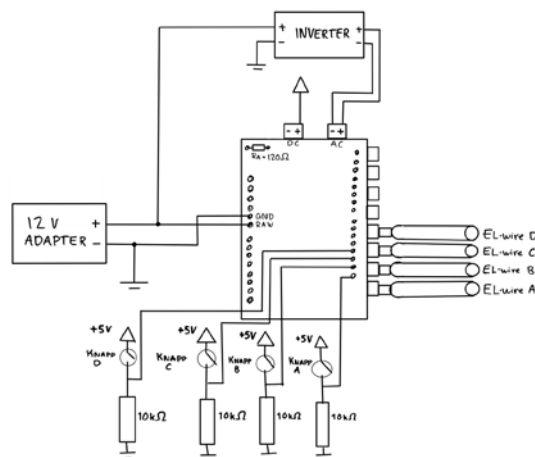
4.3.4.1 Limbhuset

I originalet är Limbhuset den del som allt är kopplat till i Limbinstrumentet. Chassit består av ett lådliknande aluminiumblock samt ett lock. I mynningen sitter tre speglar och en spegelhållare. Mitt i sitter F/BS-plattan, som samtliga filter och stråldelare fästes på. Samtliga delar är av materialet aluminium som tillverkats genom skärande bearbetning. CCD:erna och CBR:erna är båda även tillverkade i aluminium, men innehåller många komponenter som till exempel sensorer.

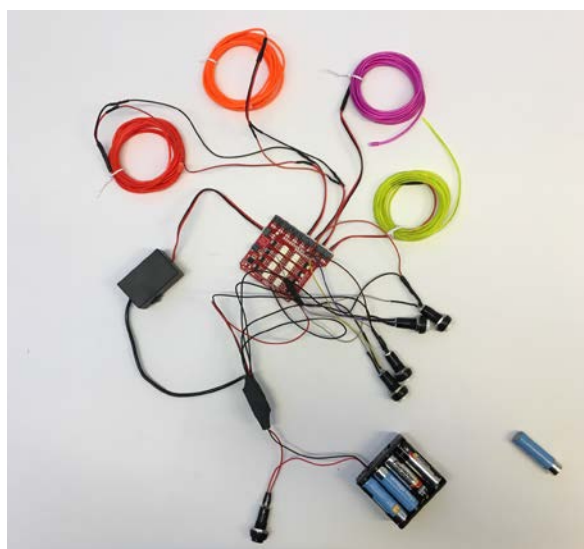
Huset behövde delas upp i 31 stycken separata delar för att det ska passa additiv tillverkning i polymera material. Strukturmodellen som tilldelats projektgruppen av Omnisys modifierades om i CAD genom att dela lådan i lämpliga storlekar för att passa 3D-skrivaren. Det skapades

hål i kanterna på modellen för att sedan kunna sammanfoga de olika bitarna med lim och tråd. Locket byttes ut mot en skiva i transparent akrylplast för att kunna erbjuda insyn. F/BS-plattan hade inte en komplex ytstruktur och tillverkades därför i björkplywood i laserskäraren. Till plattan tillverkades filter och stråldelare från grund, på grund av bristfälliga CAD-modeller, i 3D-skrivaren genom CAD-modellering. Glasen i filtren och stråldelarna tillverkades i transparent akryl. Även CCD-sensorerna och CBR tillverkades i 3D-skrivaren. Kopplingen mellan dem är en fastlimmad kopparkabel. Alla komponenter förutom locket målades med *Montana Silver Chrome*. CCD-sensorerna och F/BS-plattan bestämdes att fästas via skruvförband, för att underlätta monteringen av elektroniken.

Elektroniken konstruerades med hjälp av Magnus Karlsson, student på Elektroteknik (Chalmers Tekniska Högskola). Den elektriska kretsen ritades upp enligt figur 42 och elektriska komponenter beställdes. Tillsammans med Magnus Karlsson löddes samtliga elektroniska komponenter ihop och kretsen fungerade. Resultatet av elkretsen illustreras i figur 43.



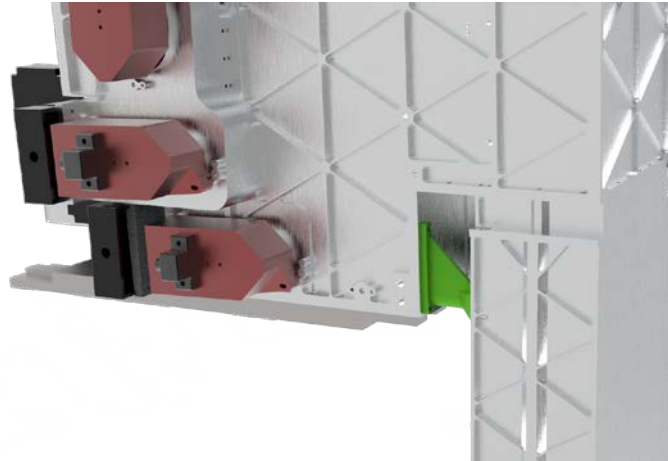
Figur 42 - Ritad elkrets



Figur 43 - Resultat av elkrets

4.3.4.2 Limbbaffel

Originalmodellen bestod av fyra olika delar som fästs samman genom skruvförband och tillsammans utgör de Limbbaffel. Limbbaffeln kopplas till Limbhuset med skruvförband och stöds via två stödmoduler som markerats gröna i figur 44. Samtliga delar är av aluminium som tillverkats genom skärande bearbetning. Insidan har behandlats med en beläggning av färgen VantaBlack.



Figur 44 - Rendering med fokus på stödmoduler

Enligt konceptets riktlinjer ska Limbbaffeln konstrueras så att den går att tillverka med additiv tillverkning. Precis som Limbhuset förstärks de tunna ytorna och kanterna där delarna ska fogas samman skapades hål i konstruktionen. Eftersom 3D-skrivaren som används har begränsningar i storlek som går att skriva ut fick Limbbaffeln konstrueras om till fyra olika delar för additiv tillverkning och en transparent akrylskiva för att möjliggöra insyn. Samtliga delar behövde stärkas med bikakestruktur då en av de bärande sidorna togs bort. Kanterna konstruerades om till fasningar, för att slippa använda stödmaterial i 3D-skrivaren. Det gjordes delvis för att slippa spillmaterial men främst för att det tar längre tid. Utsidan färglades med *Montana Silver Chrome* för att likna aluminium och insidan färglades med *Montana Black* för att likna Vanta Black.

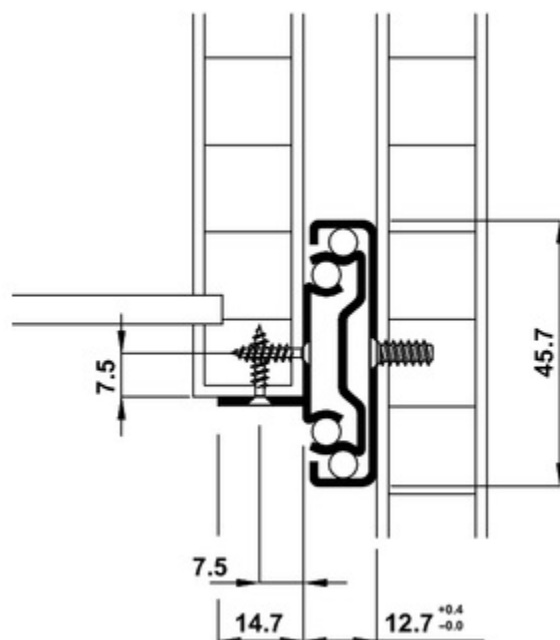
4.3.4.3 Stjärnkamera

Originalet består av ett kamerahus, ett objektiv, ett hölje för objektivet samt fästen. Delarna placeras på en plattform som i sin tur fästes på Limbhuset. Delarna är främst gjorda i aluminium. Objektivet fästes med skruvar på kamerahuset och kamerahuset fästes med skruvförband på plattformen. Plattformen sitter fast i limbhuset med förlängningsmutter för att skapa en distans mellan objekten.

Samtliga delar tillverkas med additiv tillverkningsmetod med och utan stödmaterial. Objektivet konstruerades om för att behöva så lite stödmaterial som möjligt, medan fästen, höljet och plattform lämnades orörda. Kamerahuset gjordes solitt för att få en stark konstruktion. Samtliga delar fästes ihop på samma sätt som originalet. Stjärnkameran målades med *Montana Silver Chrome* och *Montata Black* efter originalets utförande.

4.3.4.4 Övriga delar

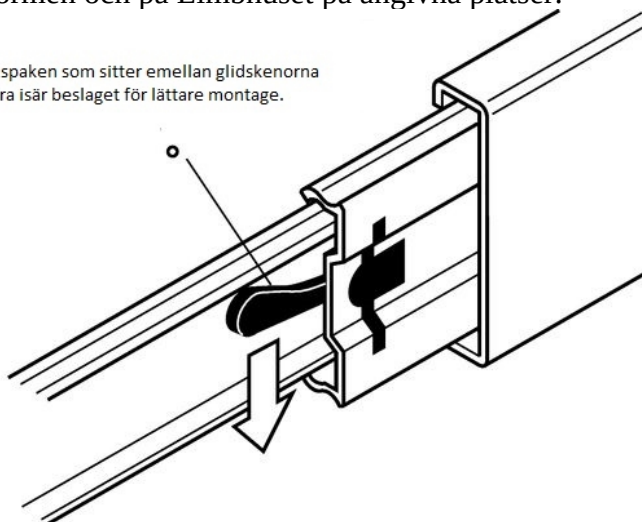
Limbinstrumentet skulle enligt konceptet fästas med skenor för att möjliggöra utdragning och avtagning. Skenor med följande dimensioner beställdes, se figur 45.



Figur 45 - Dimensioner av expansionsbeslag. Hämtat 2018-05-13 från <https://www.specialbeslag.se/expansionsbeslag>

Skenorna har en längd på 250 mm i inskjutet läge och 550 mm i utdraget läge. Skenorna tas av i utdraget läge genom att pressa den svarta knappen i skenan, se figur 46. Skenorna skruvades fast i plattformen och på Limbhuset på angivna platser.

Använd spaken som sitter emellan glidskenorna för att dra isär beslaget för lättare montage.



Figur 46 - Funktion av expansionsbeslag. Hämtat 2018-05-13 från <https://www.specialbeslag.se/expansionsbeslag/expansionsbeslag>

4.4 Utvärderingsfas

Utvärderingenfasen syftar på att undersöka om det är några problem som projektet stött på under konstruktionsfasen och behöver då itereras tillbaka till designfasen. Här används kravspecifikationerna samt Kesselringmatrisen som ramverk. Uppfyller inte konstruktionen kravspecifikationerna behöver den konstrueras om genom en iteration.

4.4.1 InnoSat

Redan under konstruktionsfasen gjordes en iterering till designfasen då den 4 mm plywoodskiva som skulle användas till väggarna av chassit var för tunn för att hållfastheten skulle klara det uppsatta kravet. Då byttes 4 millimeter till 6 millimeter och resultatet blev att hållfastheten klarade kravet. De ingående komponenterna i InnoSat skapades efter den CAD-

modell som skickades av OHB. CAD-modellen bestod till stor del av vikt-modeller. Alltså modeller som bara representerar komponentens vikt och inte dess exakta utseende. Det skapade problem vid designen av vissa ingående komponenter. Framför allt för uppfyllande av kravet att modellen ska vara verklighetstrogen och önskemålet att den skall ha hög detaljrikedom. Komponenterna gjordes så gott som möjligt efter CAD-modellen, men för att öka modellens *representation av originalet* krävs bättre modeller att utgå ifrån.

Att locket är avtagbart gör att de ingående komponenterna kan *repareras* vid behov och det kravet blir därför uppfyllt. Genom att kunna komma åt insidan kan även den lampa som monteras där tändas och släckas vid behov. Lampan ökar den *insynen* i InnoSat som möjliggörs av rutan av akryl som sitter på modellen. Rutan kan sänka representationen av originalet ytterligare, men vägs upp av möjligheten att se de ingående komponenterna.

Till följd av koncept- och materialval blev vikten av InnoSat lägre än 10 kilogram. En låg vikt är ett krav som därför uppfylls, men det betyder att hållfastheten kan ökas ytterligare och kravet på den låga vikten kan fortfarande uppnås. Under konstruktionen av solpanelen framkom problemet att den sida av chassit där solpanelen skall fästas var för vek för att kunna bära vikten av solpanelen. Den sidan fick då förstärkas med en extra bit plywood. Efter förstärkningen var *hållfastheten tillräcklig* och kravet uppfylldes därför.

4.4.2 Solpanel

Valet av akryl till solcellerna visade sig lyckat och tillverkningen skedde snabbt och enkelt. Som påpekat i 4.3.2.4. fick en kompromiss göras med prototypen där det inte gick att få tillgång till laserskärare tillräckligt länge för vad som behövdes för att göra gravyren. Det var dock en brist i projektets resurser som orsakade det problemet och lösningen i sig ses fortfarande som högst genomförbar och medför ytterligare realism jämfört med prototypen.

Valet av ett färdigtillverkat fäste med diskret profil sparade tid och ses också som ett lyckat val och tycks hålla för de krav på slitagebeständighet som ställdes även om detta är svårt att bekräfta. Solpanelen var, med kunskap om hur det görs vilket förväntas av en expertanvändare, lätt att montera både loss och på vilket uppfyllde kravet *ska med enkelhet kunna fästas i och tas loss från InnoSat-modellen*. Ett större fäste av samma modell kunde bättre uppfyllt det ställda önskemålet *Stabil montering mot InnoSat som förhindrar att produkten skakar/rör sig vid förflyttning av modellen* men skulle också öka avståndet mellan InnoSat och solpanelen vilket reducerar modellens måttriktighet.

Till prototypen behövdes plywoodskivorna skarvas då de ursprungliga skivorna inte var tillräckligt stora för de dimensioner som krävdes. Den improviserade lösningen bedöms inte ha medfört hållfasthetsmässiga förbättringar hos prototypen, vilken ändå uppfyller kravet *produkten ska tåla hantering utifrån instruktioner*, och därmed anses prototypen den validera konstruktionsunderlaget. Plywoodskivor med större dimensioner och lika fin yta som de som användes till prototypen är möjliga att beställa men den långa ledtiden det medförde låg utanför ramen för projektets resurser.

4.4.3 Övriga komponenter i instrumentet

Enligt kravspecifikationen är huvudfunktionen att representera originalprodukten, vilket innefattar kraven *Ge ett trovärdigt intryck, Likna originalprodukten* samt *Huvudkomponenterna ska synas tydligt*. Delarna som tillverkades i plywood gjordes inte i originalmodellens tjocklek, då en viss maxtjocklek krävdes för att kunna bearbeta delarna i laserskäraren, samt så fanns endast önskat material i vissa tjocklekar för inköp. Samtliga delar

som tillverkade i plywood gjordes dock enligt profilen från originalmodellens mått, och eftersom alla delar gjordes tunnare än i originalet så behölls fortfarande en liknande proportion mellan delars tjocklek som i originalmodellen vilket uppfyller kraven.

Samtliga delar som skrevs ut i 3D-skrivare blev mycket lika originalprodukten och de sprayer som användes för att få delarna till att efterlikna originalproduktens material och färg gav ett trovärdigt resultat. Under konstruktionsfasen valdes det att göra vissa förenklingar, som att förenkla delar på exempelvis fotometern som inte är karaktäristisk för dess utseende, men den karaktäristiska delen blev där så pass trovärdig att helhetsintrycket för hela komponenten blev bra. Det gjordes även en förenkling att använda något färre uttag på OBC-Lådan än i originalet, men de användes tillräckligt många för att ge ett trovärdigt intryck. Funktionen att övriga komponenter i instrumentet ska kunna fästas i InnoSat uppfylldes då basplattan tillverkades utifrån originalmodellens profil vilket möjliggjorde en adekvat kontaktyta mellan basplattan och InnoSat samt plats för infästningar och därmed uppfylldes av kraven *Basplattan har adekvat kontaktyta med InnoSat och Vara försedd med infästningar*

Funktionen att produkten ska kunna hanteras av en person uppfylldes då det valdes att använda lätta material som exempelvis plywood och plast istället för aluminium och stål vilket resulterade i att produkten uppfyllde kravet *Väga mindre än 10 kg*. Funktionen att produkten ska kunna transporteras kunde inte bedömas som uppfyllt då det innefattande önskemålet tillräcklig hållfasthet inte kunde testas. Kravet *Huvudkomponenterna syns tydligt* uppfylldes i och med att alla synliga huvudkomponenter inkluderades, men önskemålet att alla komponenter ska illustreras tydligt uppfylldes inte då vissa icke-synliga komponenter exkluderades.

4.4.4 Limbinstrumentet

Limbhuset konstruerades för tunt och hade för många plana delar. Det skapade en svag punkt mitt i lådan på Limbhuset. Enligt kravspecifikationen så skulle limbinstrumentet ha *Tillräcklig hållfasthet* för att uppfylla kraven *Produkten ska kunna transporteras* samt *Produkten ska tåla hantering utifrån instruktioner*. Genom att förstärka kanter, hörn och längder med plastprofiler försvann de svaga punkterna. Kravet var därför uppfyllt.

Önskemålet *Produkten ska kunna repareras* genom kriterierna *Komponenter fästes temporärt* samt *Enkel att plocka isär* uppfylldes bara för vissa komponenter. Problemet uppstod ofta vid felkonstruerade komponenter där tanken var att använda väldigt små skruvförband. Den minsta skruv som hittades hos leverantörer var för stor och hade för stora skruvhuvuden. Komponenterna valdes därför att fogas samman med lim, vilket gjorde att de inte fästes temporärt. Önskemålet *Komponenter fästes temporärt* krockade vid vissa komponenters sammanfogningar med kravet *Tillräcklig hållfasthet*. Eftersom *Tillräcklig hållfasthet* är ett krav, prioriterades det.

Kravet *Liknar originalprodukten* kan emellertid vara svår att bedöma ifall projektet uppfyllde kravet på grund av bristen av mätbarhetsgrad i kravet.

4.5 Dokumentationfas

I dokumentationsfasen samlas all väsentliga data och information om prototypen och arbetsprocessen. Syftet med dokumentationen är att en utomstående person eller projektgruppsmedlem ska i ett senare skede kunna använda sig av dokumentationen för att tillverka en presentationsmodell av satelliten MATS. De viktigaste dokumentationsdelarna är *ritningar*, *BOM-lista*, *bruksanvisning* och den tillverkade *prototypen*.

4.5.1 Ritningar

Ritningar av ursprungskoncepten har använts under hela tillverkningen av prototypen. De har varit till hjälp både för projektgruppen och för handledare som hjälp till under bygget. När felaktigheter upptäcktes gjordes avsteg från ritningarna, som vid placering av skruvhål, vilket dokumenterades så att korrigeringar kunde göras till det slutgiltiga konstruktionsunderlaget. Ritningarna är skapade i datorprogram med funktioner för att generera ritningar utifrån CAD-modeller. I framtiden kan ritningarna användas som underlag för mått och sammansättning vid tillverkning av slutprodukten.

4.5.2 Stycklista

Stycklistan (eng. *Bill of Materials (BOM)*) beskriver en uppdelning av de komponenter som utgör modellen samt vilka material som behövs för att tillverka dem. I dokumentationen har stycklistorna för de olika delarna av modellen syftet att ge tillverkaren av slutprodukten en sammanställning av det material som behöver införskaffas. Det här gör det möjligt att beräkna vad tillverkningen kommer att kosta och fungerar som underlag till inköp av måttbeställt material. För att skapa stycklistan har projektgruppen dokumenterat vilket material som köptes för tillverkningen och räknat på hur mycket av det som gick åt.

4.5.3 Bruksanvisning

Projektet avser att skapa en modell av satelliten MATS som ska användas vid föreläsningar vilket innebär att användaren kommer att interagera med den vid presentation och transport. Med modellens dokumentation följer därför en bruksanvisning för att reducera risken för att slutprodukten skadas av felaktig användning. Dessutom försäkras bruksanvisningen att modellens alla funktioner kan användas redan av förstagångsanvändare och att modellens fulla användningspotential går att nå snabbare. Bruksanvisning har skapats genom att kortfattat beskriva funktionerna hos de komponenter modellen illustrerar utifrån den information som erhöles i datainsamlingsfasen samt hur de funktioner som införts i projektgruppens design av modellen för att förbättra användningsupplevelsen ska användas.

4.5.4 Prototyp

Den prototyp som tillverkats är en fysisk representation av det framtagna tillverkningsunderlaget, vilket visar att det är möjligt att realisera. Prototypen visar även utfallet från de materialval som gjorts. Prototypen har ett dokumenterande syfte i att den indikerar hur slutprodukten kan komma att se ut och kan även användas för att utvärdera den modell konstruktionsunderlaget beskriver. Det här gör det möjligt för beställaren att testa användarupplevelsen i förhand och besluta om eventuella förändringar innan slutprodukten tillverkas.

5. Diskussion

I det här avsnittet förs en diskussion om projektets resultat, huruvida det konstruktionsunderlag som tagits fram är trovärdigt, ändamålsenligt och om den prototyp som tillverkats är representativt för det.

Vid projektets uppstart bestämdes det övergripande syftet som:

Att undersöka och ta fram tillverkningsunderlag för en visuell prototyp som ska användas för en ökad förståelse för den svenska rymdindustrin samt som presentationsmaterial under föreläsningar, mässor och utställningar...

För att uppnå syftet har förstudien som genomförts haft en frågeställning med fokus på att undersöka hur produkten ska användas, vilka krav det tillsammans med intressenternas behov ger upphov till, men också hur modellen kan hjälpa uppdragsgivaren nå sina mål om att skapa intresse för projektet MATS. I sökandet efter svar på frågorna upptäcktes det att en avvägning behövde göras då de explicita önskemålintressenterna, inklusive uppdragsgivaren, uttryckte reducerade modellens förmåga att på egen hand möta målsättningen. Det här motsägelsefulla dilemmat diskuteras vidare i 5.3.

Den kravbild som förstudien resulterade i har primärt betonat krav på användarvänlighet, i och med att modellen måste gå att använda av slutkunden för att övriga funktioner ska komma till nytta, samt ett verklighetstroget utseende, vilket var det önskemål som uttrycktes av samtliga intressenter. Genomgående utmaning i projektet har därefter blivit att förenkla mycket komplexa komponenter så att verklighetstroga representationer relativt enkelt och billigt kan tillverkas. Resultatet måste därför bedömas utifrån aspekterna i kravställningen vilket görs nedan i 5.1.

5.1 Slutresultatet

Även om den prototyp som tillverkats i vissa aspekter skiljer sig från det konstruktionsunderlag projektet resulterat i då kompromisser behövt göras med hänsyn till projektets resurser är den en god representation av den verkliga satelliten. Tillverkningsmässigt begränsades prototypen av vilka material som fanns tillgängliga i verkstaden och direkt i butik samt av det antal timmar projektgruppen hade tillgång till verkstaden och med verktyg som laserskäraren. Det här är begränsningar som uppkommit på grund av den miljö projektet utförts i och som inte hade funnits i den tillverkningsmiljö konstruktionsunderlaget är tänkt att användas i.

5.1.1 En realistisk representation?

Projektets resursbegränsningar till trots har kriterier för den genomgående huvudfunktionen hos modellen, *produkten representerar originalet*, bedöms ha uppnåtts väl för samtliga delsystem med hänsyn på de avgränsningar för material och tillverkningsmetoder som gjorts. Det är svårt att kvantitativt mäta aspekten men åsikten motiveras med att mått- och skalriktighet uppnåtts i prototypen till den grad att skillnader mot renderingar på originalet är mycket svåra att urskilja. Det här tyder på att konstruktionsunderlaget är representativt för satelliten MATS och att produkten det beskriver är möjlig att tillverka inom de avgränsningar som gjorts.

Prototypens svagheter i avseende till representativitet är framförallt den ytfinish som varit möjlig att uppnå med de resurser som funnits tillgängliga. Utfallet för många av plastkomponenterna tillverkade i 3D-skrivare blev mycket bra men för att övertyga en betraktare om att en målade träskivor ska föreställa aluminium krävs ett rigoröst förberedelsearbete och att ytorna sprutmålas i en dammfri miljö. Bra sprutmåleri kräver utrustning och expertis utanför projektgruppens resurser men vilket antas finnas i en professionell modellverkstad. Där kan det vid tillverkning av den slutprodukt som beskrivs i konstruktionsunderlaget kan förhöja intrycket av realism ytterligare jämfört med prototypen.

5.1.2 En användbar modell?

För att slutkunden ska kunna använda modellen räcker det inte bara att den är representativ, det finns även en rad fysiska hinder där framförallt vikt har blivit den aspekt projektet behövt fokusera på. Under förstudien spekulerade projektgruppen i om det skulle behövas en tillhörande vagn för att flytta modellen men efter att analyserat modellens tänkta användingssituation har genomgående tema i kravbilden blivit att reducera modellens vikt till den nivå att den går att bära. Ett mål som prototypen visar att resultatet har uppnått.

För att uppfylla det krav som sattes på att modellen ska kunna hanteras och transporteras av en ensam person har förutom viktreduceringen andra lösningar gjorts för att förbättra användarupplevelsen. Både solpanelen och limbinstrumentet går att montera av satelliten vilket både gör den lättare att transportera och ger funktionalitet vid presentationer där de inte behöver skymma andra komponenter för åskådarna. För att göra de här funktionerna möjliga inom projektets ramar köptes färdiga lösningar in vilka, även om de fyller sina tänkta funktionen, projektgruppen anser borde fungerat bättre än de gjorde. Skulle tid funnits hade här egna lösningar tagits fram, speciellt anpassade för användningsfallen, och vid tillverkning av slutprodukten vore det lämpligt att undersöka om de här kan ersättas med liknande lösningar från andra tillverkare för att förhöja användarvänligheten.

5.2 Resultatets validitet

Den grundläggande svårigheten i att bestämma studiens validitet är att MATS projektet fortfarande inte är avslutat och att satelliten ännu inte tillverkats. Då det inte funnits en färdig satellit att observera och använda som grund för konstruktionsunderlaget har projektet fått förlita sig på data från intervjuer, mailkorrespondens och CAD-modeller som erhållits från nyckelpersoner hos de parter som arbetar med satelliten, OHB Sweden AB och Omnisys Instruments AB. Även med informationen som erhållits, vilken bedöms vara mycket trovärdig, och den hjälp med att validera designunderlaget till projektets resultat som kontaktpersoner hos utvecklarna bidragit med, kan resultatet i bästa fall bara representera satelliten som den ser ut på ritbordet idag.

Det har förekommit olikheter mellan de CAD-modeller som projektgruppen fått ta del av som följd av att de härstammar från olika tidpunkter i projektet MATS vilket tyder på att konstruktionen har, likt i det här projektet, itererats under projektets gång allt. Skulle ytterligare förändringar i satellitens design göras innan den färdigställts påverkar det direkt konstruktionsunderlagets relevans vilket gör det viktigt att först kontrollera så att det inte skett innan eventuell tillverkning av presentationsmodell.

5.2.1 Kravbild - Vilken användingssituation?

Det finns en svårighet i att avgöra till vilken grad produkten möter slutanvändarens faktiska behov. Den kravbild som ställts upp har gjorts från beställarens planerade användning för produkten men när användaren får prototypen i handen är det rimligt att anta att nya

användningsområden kommer att upptäckas. Det här skulle eventuellt leda till nya önskemål och att ett behov av att vidareutveckla resultatet uppkommer. En mer djupgående behovsstudie hos slutanvändaren med en fysisk modell hade behövt göras tidigt i projektet för att på förhand försöka identifiera vilka nya användningsområden som kan hittas men då projektet både omfattar konstruktion och tillverkning räckte inte tiden till.

Projektets tänkta slutanvändare och kund har alltid varit beställaren Ole-Martin Christensen men efter de studiebesök som genomfördes under projektet väcktes även intresset för en modell hos både OHB Sweden och Rymdstyrelsen. Intresset uppdagades sent i studien och det har därför inte tagits hänsyn till nya behov de potentiella användarna skulle tillföra kravbilden, även om de i projektet genomgående funnits med som intressenter av andra skäl. Det ses som troligt att OHB Sweden skulle ha ett annat syfte med modellen, marknadsföring av den egna produkten InnoSat, vilket resulterar i nya behov då målgruppen för marknadsföringen skiftar. Att det enbart skulle vara den tänkta slutanvändaren som brukar produkten i den tänkta användingssituationen är alltså inte längre givet.

5.2.2 Rimliga materialval och tillverkningstekniker - Vem tillverkar slutprodukten?

Teorin som presenteras i kapitel 2 framtocks baserat på syftet och målbilden med målet att väcka intresse för satelliten MATS och rymdindustrin som helhet. Ur användarundersökningen, se bilaga Enkät för allmänheten, där frågan ställdes om vad som skulle väcka ett intresse för rymdteknik framkom det att de viktigaste kriterierna att uppfylla var att modellen är trovärdig, att den är lätt att förstå samt att funktionerna förklaras kortfattat. Teorin som presenteras förklarar kortfattat varje komponent som valts att fokuseras på och där resterande delar förklaras än mindre omfattande. Eftersom att en kortfattat förklarad och lättförståelig modell har efterfrågats, med en kortfattat förklarande och lättförståelig teori presenterad i rapporten som underlag, så har avgränsningar kunnat göras och påverkat resultatet. Det har lett till en simplare, mindre detaljrik modell, än om en komplex modell hade efterfrågats. Det kan diskuteras i huruvida det hade varit bättre att göra en mer detaljerad modell, en sådan hade varit mer trovärdig men samtidigt så hade den sannolikt varit svårare att förstå och inte nödvändigtvis väckt ett större intresse för satelliten MATS och rymdindustrin som helhet.

Under projektet utfördes ett antal studiebesök för att förstå satelliten bättre. Med bra CAD-filer och ritningar hade studiebesöken inte behövts för att skapa ett koncept, vilket hade sparat på både tidsmässiga och ekonomiska resurser. Fördelen med studiebesöken var dock att projektgruppen fick en bättre förståelse för satellitens olika funktioner och utan dem hade till exempel visualiseringen av hur limbinstrumentet fungerar inte vara genomförbart. Ytterligare en fördel med studiebesöken var den kontakt som skapades mellan projektgruppen och projektets intressenter. Det var nödvändigt för att få gedigna de CAD-modeller av satelliten som använts i projektet.

De ingenjörsmässiga metodval som gjordes i projektet påverkade resultatet. Med andra metodval hade resultatet kunnat bli annorlunda, både till det bättre och till det sämre. Ett omfattande arbete med flera olika matriser gjordes för att resultatet skulle bli så bra som möjligt. Det gjordes dock på bekostnad av tidsmässiga resurser. Om så många ingenjörsmässiga metoder är nödvändigt att göra kan därför diskuteras. Konstruktionen av en prototyp gav möjligheten att konceptet kunde provas och problem med det framtagna projektet kunde korrigeras. Prototypen gjorde det även lättare att öka förståelsen för konceptet.

5.2.3 Rimliga materialval och tillverkningstekniker - Vem tillverkar slutprodukten?

Då det ännu inte är beslutat vem som kommer att ta konstruktionsunderlaget till produktion för att tillverka slutprodukten har det inte varit möjligt att med säkerhet bestämma vilka resurser som kommer finnas tillgängliga. Ett antagande har därför behövt göras om att en professionellt utrustad modellverkstad bör ha tillgång till åtminstone samma utrustning och möjlighet till materialinförskaffning som projektgruppen. Då en prototyp kunnat konstrueras under projektet och den bedömts som representativ för konstruktionsunderlaget bör även tillverkaren kunna uppnå samma eller bättre resultat.

Den tillverkningsmetod som ändå ses som rimlig att ifrågasätta är 3D-skrivning vilket gjorts för en stor del av komponenterna. Under projektet har flera 3D-skrivare använts vilka har arbetat på utskrifter nästan konstant under tillverkningen av prototypen. Övrigt arbete med prototypen har begränsats av tillgänglighet till verkstaden, ledtider för material och tidsåtgång för rapportskrivande men om det kunde skett snabbare hade 3D-skrivningen blivit det tidskritiska moment som avgjort tillverkningsfasens längd. Det är svårt att förutsäga ifall en modellverkstad med resurser för att genomföra övrigt tillverkningsarbete snabbare än projektgruppen också har det för att göra snabbare utskrifter och förhindra att det här blir ett problem. 3D-skrivning är fortfarande en relativt ung tillverkningsteknik men vars unika fördelar kommit till stor användning under projektet för att återskapa komponenter med en detaljnivå inte möjlig annars. Vid val av en tillverkare av slutprodukten behöver det alltså säkerställas att resurser för att möjliggöra användning av tekniken finns om bästa resultat ska kunna uppnås.

5.3 Modellens ändamålsenlighet - Rätt för uppdragsgivarens mål?

Då projektets uppdragsbeskrivning mottogs definierades huvudmålet hos uppdragsgivaren som *att skapa intresse och förståelse hos målgruppen människor mellan 8-80 år*. När det därefter undersöktes hur målet bäst skulle uppnås upptäcktes många aspekter hos satelliten och projektet som projektgruppens medlemmar själva fann intressanta. Redan MATS forskningsuppdrag i sig ansågs spännande och utöver det fanns en nyfikenhet för hur satellitens olika delar fungerade samt, som ingenjörstudenter, ett intresse för de unika utmaningar som uppstår när en produkt ska användas i rymden och de avancerade tillverkningsmetoder och material som krävs för att lösa dem.

Enligt den enkätundersökning riktad mot allmänheten som gjordes i studien tycktes de delar projektgruppens intresse. Svaren visade på en huvudsaklig nyfikenhet för naturfenomen i atmosfären och hur satelliter fungerar men också att majoriteten av respondenterna, likt uppdragsgivarens önskemål, ansågs det viktigt att en satellitmodell är realistisk och verklighetstrogen. Ett problem uppstår här med de begränsningar för illustrativ förmåga som måste göras när realism ska eftersträvas.

Många av de spännande komponenter som är unika för satelliter, exempelvis magnetorquers, kräver kunskap om fysik motsvarande gymnasienivå för att förstås. För att förklara det så att den breda målgrupp som beskrivs, och framförallt för att de yngre, ska kunna förstå krävs därför förenklingar. En modell i verklig skala med realism som huvudfunktion visar sig dåligt lämpad för det här då krav på förenklingar och realism blir motstridande. Projektgruppen valde därför i designfasen att överge försök att tvinga fram förmåga att illustrera funktion hos komponenter vars storlek och utformning inte lämpade sig för det. Istället anses det lämpligt att med kompletterande funktionsmodeller illustrera principerna bakom de fysiska fenomen som utnyttjas.

I slutändan är en presentationsmodell endast ett medierade verktyg och kan inte utföra ett bättre jobb än den som använder det. Så länge som designen eftersträvar hög realism kan det inte förklara sig själv om det inte är en funktion hos originalet som representeras. Huruvida presentationer som utnyttjar modellen når de mål som satts tros därför i huvudsak bero på presentationen som sker kring den och inte på modellen, även om den kommer kunna vara till hjälp som ett redskap.

6. Slutsats

I det här avsnittet presenteras de viktigaste slutsatserna förknippat med projektets syfte, mål och frågeställningar.

Bland den svenska befolkningen är det nuvarande intresset för rymdindustrin lågt och ingen god förståelse för satelliter finns. Den gjorda användarundersökningen visade att ett intresse för att lära sig mer om satelliter finns, och i en modell var det intressantaste att efterlikna en riktig satellit. Därför var det högst aktuellt med ett produktutvecklingsprojekt av en tillförlitlig modell av en satellit. Arbetets mål och frågeställningar ämnade att besvara vad som definierar en trovärdig modell av en satellit samt hur intresse väcks för den. Med avseende på projektets resultat kan följande slutsatser dras:

- Förstudien visade att vad projektets intressenter önskar att se är en användarvänlig och trovärdig modell, därför lades fokus primärt på att uppfylla kraven *användarvänlighet* och *ge ett trovärdigt* intryck, vilket uppfyllde det övergripande syftet.
- De aspekter av projektet som väcker intresse är möjligheten till att kunna förklara och visa upp en skalenlig prototyp som på ett trovärdigt sätt illustrerar satelliten MATS komponenter samt möjliggör läromässiga förklaringar till någon av dess funktioner och utifrån det väcker ett intresse för satelliten.
- Intressanta funktioner att illustrera med modellen, som väcker intresse, är hur Limbinstrumentet fungerar och mer konkret hur ljusvägens gång kan demonstreras i den. Det är även intressant att vid benämning av komponenter i modellen kunna visa deras utseende samt placering.
- Prototypens främsta användningsområden är att vara en representativ skalenlig modell av satelliten MATS, där slutkunden kan använda prototypen för att visa MATS ingående komponenter samt väcka intresse för satelliten genom att visa Limbinstrumentets funktion.
- Framtagen teori är lämplig som underlag tillsammans med en lättförståelig modell baserat på syftet och användarundersökningen. Det har påverkat resultatet till att en något mindre detaljerad, men lättförståelig, modell togs fram gentemot vad som hade varit möjligt.
- De omfattande metoder som använts har gjort att konceptet fått ett bra resultat, men på bekostnad av tidsmässiga resurser. Mindre omfattande metoder kunde ha använts, men på bekostnad av resultatets kvalitet.
- Tillgängliga resurser har inte räckt för att tillverka prototypen exakt enligt dess konstruktionsunderlag, och komplexa komponenter har förenklats där exempelvis plast från utskifter och plywood har sprayfärgats för att efterlikna aluminium. Det för att med projektets tillgängliga resurser uppfylla det övergripande syftet. Prototypen uppfyller fortfarande huvudfunktionen produkten representerar originalet med förenklingarna tillsammans med dess grad av mått- och skalenlighet.
- Lämpliga tillverkningsmetoder av en prototyp som liknar originalmodellen är additiv tillverkning, skärande bearbetning och sammanfogning. Mindre tid bör dock läggas på additiv tillverkning, mer specifikt på 3D-skrivare. Hjälp med att skriva ut i 3D-skrivare av vissa komplexa komponenter bör tas från en extern part.
- Det är möjligt att tillverka en prototyp som liknar originalprodukten inom projektets resurser med de avgränsningar och förenklingar som gjorts, men det går inte att med säkerhet säga om originalprodukten går att likna till fullo då ingen helt färdig sådan modell var tillgänglig under projektets gång.

7. Rekommendationer och framtid

I följande avsnitt ges rekommendationer om framtida arbete med modellen av satelliten MATS.

Skulle modellen av MATS vidareutvecklas finns det några saker som kan förbättras. Under projektets gång har det identifierats utvecklingspotential som skulle öka kvaliteten i produkten. Nedan följer rekommendationer på vad som kan göras vid framtida arbete med produkten.

En faktor som gjort att projektet dragit ut på tiden är väntan på att få korrekta CAD-modeller från OHB och Omnisys. När väl modellerna blev tillgängliga, var de inte kompletta. Mer detaljerade CAD-modeller behövs för att kunna öka trovärdigheten i modellen. Trots det kan mer detaljerade modeller vara svåra att få tag i på grund av den sekretess som finns kring satelliten. En framtida frågeställning för intressenterna kan därför vara hur detaljerad produkt de vill ha och till vilken grad de kan dela med sig av detaljerna.

Detaljer är någonting som det kan göras mycket med för att förbättra. Skulle detaljerna förbättras är det viktigt att alla delar blir lika detaljerade. Annars kan de detaljerna göra att mindre detaljerade delar ser ännu mindre äkta ut och modellen kan på så sätt förlora trovärdigheten. En detalj som inte finns i modellen är sladdar i InnoSat. Med rätt CAD-modell från OHB är det en detalj som skulle höja trovärdigheten på modellen.

Olika sorters ytfinish har testats i projektet och eftersom att MATS är byggd i aluminium kan en aluminiumliknande ytfinish bidra till högre trovärdighet. Därför rekommenderas det att fortsätta prova olika sorters ytfinish på materialen som används i modellen för att hitta bättre sätt att skapa en illusion av att modellen är byggd i aluminium trots att den består av trä och plast.

Vidare finns det mycket att göra för att öka pedagogiken i modellen. I början av projektet diskuterades det huruvida affischer, informationsvideor och annat som rörmodellen var en del av projektet eller inte. Det bestämdes då att projektet skulle fokuseras på själva modellen och att allt annat skulle lämnas för att kunna ingå i ett senare projekt. I ett sådant projekt rekommenderas det att lägga fokus på förbättringar av modellen, men även på att öka pedagogiken i presentationen av den. Pedagogiska verktyg skulle kunna vara interaktiva gränssnitt som gör att olika lampor går att tända, att det finns saker att röra vid och snurra på, en modell i virtuell verklighet och mycket mer.

En instruktionsbok skulle kunna göras för att förenkla bygget av nya modeller. Bygget skulle då på ett illustrativt sätt kunna följas steg för steg och alla med tillgång till rätt material och verktyg skulle kunna bygga modellen. Det blir extra viktigt om fler intressenter är intresserade av att äga en egen modell.

Litteraturförteckning

- Aerospace Fabrication. (2018). *Multilayer Insulation*. Hämtat från <https://www.aerospacefab.com/product/mli/>
- Autodesk. (den 13 maj 2018). *What is CAD software?* Hämtat från CAD Software: <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>
- Azo Materials. (den 13 maj 2018). *New Innovations in Honeycomb Composites*. Hämtat från <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8379>
- Boyes, W. (2010). *Instrumentation Reference Book*. New York: Elsevier Inc.
- Britannica. (2018). *Photometer*. Hämtat från Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/technology/photometer>
- Colourlex. (2018). *Vantablack*. Hämtat från <http://colourlex.com/project/vantablack/>
- Continental Steel & Tube Company. (den 13 maj 2018). *The Benefits of Aluminum Honeycomb in Aerospace Applications*. Hämtat från <https://continentalsteel.com/blog/aluminum-honeycomb/>
- Creative Tools. (den 13 maj 2018). *About 3D-printing*. Hämtat från CT - Creative Tools: <https://www.creativetools.se/about-3d-printing>
- Cummis, K. (den 24 maj 2010). *The rise of additive manufacturing*. Hämtat från The Engineer: <https://www.theengineer.co.uk/issues/24-may-2010/the-rise-of-additive-manufacturing/>
- ESA. (2018). *About research in space*. Hämtat från http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Research/About_research_in_space
- ESA. (2018). *Onboard Computers*. Hämtat från Instrumentation Reference Book
- ESA. (2018). *Thermal Control*. Hämtat från https://m.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Thermal_Control
- Friedman, M. (2017). *The Inflation Calculator*. Hämtat från <https://westegg.com/inflation/>
- Gumbel, J. (den 20 Oktober 2014). *MATS Mission Definition Phase Report*. Hämtat från http://www.snsb.se/Global/MATS_MDP_Report_Public_Summary.pdf
- Hollnagel, E. (2003). *Handbook of Cognitive Task Design*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Howell, E. (den 26 oktober 2017). *What is a Satellite?* Hämtat från <https://www.space.com/24839-satellites.html>
- ICE. (den 13 maj 2018). *What is Carbon Fiber?* Hämtat från <http://www.innovativecomposite.com/what-is-carbon-fiber/>
- Illustrerad Vetenskap. (den 1 september 2009). *Hur högt kan moln ligga?* . Hämtat från <http://illvet.se/naturen/vadret/hur-hogt-kan-moln-ligga>
- JAXA. (2003). *Piggyback Payloads*. Hämtat från Launch of IBUKI Special Site: http://global.jaxa.jp/countdown/f15/overview/sub_payload_e.html
- Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2004). *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design*. Stockholm: Liber.
- Kang, C.-S. (den 1 juni 2007). *Multilayer Insulation for Spacecraft*. Hämtat från ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964274999800237>
- Lawsson, B. (2005). *How designers think*. Oxford: Architectural Press.
- Lindstedt, P., & Burenus, J. (2006). *The Value Model*. Sverige: Nimba AB.
- Lund Tekniska Högskola. (den 13 maj 2018). *Additiv Tillverkning*. Hämtat från Designvetenskaper: <http://www.design.lth.se/om-institutionen/forskningslaboratorier/3dprintlab/additivtillverkning/>
- Luxion. (den 13 maj 2018). *Keyshot*. Hämtat från Luxion: <https://www.keyshot.com/about/>
- Maylor, H. (2010). *Project Management*. Italy: Pearson Education Limited.

- MISU. (2018). *Innosat*. Hämtat från Department of Meteorology (MISU):
<https://www.misu.su.se/research/mats/innosat>
- MISU. (2018). *MATS - the next Swedish research satellite*. Hämtat från
<https://www.misu.su.se/research/mats>
- MISU. (2018). *MATS science*. Hämtat från <https://www.misu.su.se/research/mats/mats-science>
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Boston: Academic Press.
- Rymdstyrelsen. (den 12 Maj 2018). Hämtat från Odin:
http://www.snsb.se/Global/Om%20Rymdstyrelsen/eng_odin_brochure.pdf
- Schmeer, K. (den 13 maj 2018). *Stakeholders Analysis Guidelines*. Hämtat från
<http://www.who.int/workforcealliance/knowledge/toolkit/33.pdf>
- Séguéla, P. (2011). *Space Probes*. Quebec: Firefly Book Ltd.
- SMHI. (den 2 maj 2017). *Moln - introduktion*. Hämtat från
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/moln-introduktion-1.3852>
- SMHI. (den 20 mars 2017). *Nattlysande moln*. Hämtat från
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/nattlysande-moln-1.3864>
- Space.com. (2018). *International Space Station*. Hämtat från <https://www.space.com/16748-international-space-station.html>
- Spectral Instruments. (2013). *What Is A CCD?* Hämtat från Instrumentation Reference Book
- Surrey nanosystems. (den 9 juli 2014). *British breakthrough in world's darkest material launched at Farnborough International*. Hämtat från News:
<https://www.surreynanosystems.com/media/news/sensitive-electro-optical-imaging-and-target-acquisition-systems-launch-at-farnborough-international-air-show>
- Swinerd, G. (2009). *How Spacecraft Fly*. United Kingdom: Copernicus.
- The Economic Times. (2018). *Reaction Wheels*. Hämtat från
<https://economictimes.indiatimes.com/definition/reaction-wheels>
- Thelander, A. (2007). *Mellan himmel och jord*. Kiruna: Institutet för rymdfysik.
- Thompson, R. (2010). *Manufacturing processes for design professionals*. London: Thames & Hudson.
- Wang, P., & Shtessel, Y. (2004). *Satellite Attitude Control Using only Magnetorquers*. Hämtat från
<https://web.archive.org/web/20110821224411/http://microsat.sm.bmstu.ru/e-library/Algorithms/mss/mag.pdf>
- Wikberg Nilsson, Å., Ericson, Å., & Törlind, P. (2015). *Design: process och metod*. Lund: Studentlitteratur.
- Österlin, K. (2007). *Design i fokus för produktutveckling: varför ser saker ut som de gör?*. Slovenien: Liber.

Bilagor – Innehåll

A Morfologiska matriser

- 1 Övriga komponenter i instrumentet
- 2 InnoSat
- 3 Limbinstrument
- 4 Solpanel

B Pughmatris

C Brainstorming

D Blankettundersökning

- 1 För personer kopplade till projektet MATS
- 2 Allmänheten

E Konstruktion

- 1 Basplatta
- 2 Rendering sida
- 3 Rendering framsida
- 4 Radiator 3
- 5 Radiator 2
- 6 Radiator 1
- 7 OBC-radiator
- 8 OBC framsida
- 9 Stycklista huvudkomper

F Intervjuer

- 1 Intervjumall
- 2 Transkribering

A. Morfologiska matriser

A.1

Övriga komponenter av instrumentet				
Basplatta	Material	3D-print (A)	Trä (B) (C)	
	Struktur	Originell geometri (A)	Originell geometri men förenklad struktur (B)	Förenklad geometri och struktur (C)
	Avtagbar	Nej (B) (C)	Ja med snäppfåsten	Ja med magneter (A)
Nadirinstrumente	Material	3D-print (A) (B)	Trä (C)	Plast
	Struktur	Originell geometri (A) (B)	Cylindrisk (förenklad) geometri (C)	
	Avtagbar	Nej (B) (C)	Ja med snäppfåsten	Ja med magneter (A)
Fotometer (karak)	Material	3D-print (A) (B)	Trä (C)	Plast
	Struktur	Originell geometri (A) (B)	Cylindrisk (förenklad) geometri (C)	
	Avtagbar	Nej (B) (C)	Ja med snäppfåsten	Ja med magneter (A)
OBC-Låda	Material	3D-print (A)	Trä (B) (C)	
	Struktur	Originell geometri (full honeycomb) (A)	Delvis förenklad struktur (synligt honeycomb) (B)	Förenklad struktur (ingen honeycomb) (C)
	Avtagbar	Nej (B) (C)	Ja med snäppfåsten	Ja med magneter (A)
Kolfiberstänger	Material	Kolfiber med stålfåsten (A)	Trä med stålfåsten	Plast med 3d-printade fåsten (B)
	Struktur	Originell geometri (A) (B)	Förenklad	Finns ej med (C)
Radiator	Struktur	Rak (C)	Inbuktande (A) (B)	Inte genomskinlig (A) (B)
	Ihopfällbar	Ja (A)	Nej (B) (B)	Genomskinlig
	Material	Trä (B)	Plexiglas	3d-print (A)
	Avtagbar	Nej (B)	Ja med snäppfåsten	Ja med magneter (A)
OBC-Radiator	Struktur	Full honeycomb (A) (B)	Förenklad struktur (ingen honeycomb) (C)	Inte genomskinlig (A) (B) (C)
	Ihopfällbar	Ja (A)	Nej (B) (C)	Genomskinlig
	Material	Trä (B) (C)	Plexiglas	3d-print (A)
	Avtagbar	Nej (B) (C)	Ja med snäppfåsten	Ja med magneter (A)

Morfologisk matris

Innosat		Alternativförslag/ideér ->							
Delar	Delfunktioner / delkomponenter								
Chassi	Material	Träläkryl	Enbart trä	Endast akryl	Inslagning	Koncept 1 (A)	Koncept 2 (B)	Koncept 3 (C)	Koncept 4 (D)
	Yttfinish/MLI	Sprayed zinc	Tejpad	Sprayfärg		Träläkryl	Enbart Trä	Träläkryl	Enbart trä
	Geometri	Original	Förenklad			Sprayfärg	Sprayfärg	Sprayfärg	Sprayfärg
	Fästianordningar	Skruvförband	Lim			Original	Original	Original	Original
Ingående komponenter	Insyn	Akrylhula	Lucka	Öppet in	Ingen insyn	Skruvförband	Skruvförband	Skruvförband	Skruvförband
	Löck	Fast	Avtagbart			Akrylhula och lucka	Lucka	Akrylhula	Ingen insyn
	Material	Trä	Plast	Frigolit	<u>Skumplast</u>	Avtagbart	Avtagbart	Avtagbart	Fast
	Geometri	Original	Förenklad			Trä	Trä	Trä	
Gps	Fästning mot innosat	Alla komponenter finns	Vissa komponenter finns	Inga komponenter finns		Förenklad	Förenklad	Förenklad	Inga komponenter finns
	Geometri	Skrubar	Lim	Extern Lampa		Vissa komponenter finns	Vissa komponenter finns	Vissa komponenter finns	Finns ej
	Verklighetstroget	Finns	Finns ej			Lim	Lim	Lim	
	Placering strömkälla	Tak	Bakom komponenter	Kant mot insyn		Lampa	Lampa	Lampa	Finns ej
Antenner	Material	Under	Sidor	Finns ej		Tak	Tak	Tak	Finns ej
	Fästning mot innosat	Trä	Plast			Under	Finns ej	Finns ej	Finns ej
	Geometri	Limning	Skrubar			Trä	Trä	Trä	Trä
	Verklighetstroget	Sticker ut lite från chassit	Sitter direkt på chassit			Limning	Limning	Limning	Limning
Tillverkningsmetod	Material	Finns	Finns ej			Sticker ut	Sticker ut	Sticker ut	Sitter direkt
	fästning mot innosat	Trä	Plast			Finns	Finns	Finns	Finns ej
	Geometri	Limning	Skrubar			Trä	Trä	Trä	
	Verklighetstroget	Sticker ut lite från chassit	Sitter direkt på chassit			Förenklad	Original	Förenklad	
Maskiner	Material	Additiv	Skruvning	Skärande bearbetning	Limning	Sticker ut	Sticker ut	Sticker ut	Sticker ut
	fästning mot innosat	3D-rinter	Borr	Laserbearbetning		Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning
	Geometri	3D-rinter	Borr	Laserbearbetning		Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning
	Verklighetstroget	3D-rinter	Borr	Laserbearbetning		Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning	Skärande/limnin g/skruvning

Morfologisk matris

Limb Imager		Alternativförslag/idéer ->	
Delar	Defunktioner / delkomponenter		
Limbouse	Material	Träakryl	Endast trä
	Yttfinish	Sprayad zinc	Sprayfärg
Strålar	Geometri	Original	Förenklad
	Fästordningar	Skrudar	Lim
	Fästning mot limostat	Skruförband	Solid
	Uthörande	EL wire	Magnetlejp
	Verklighetstroget	3 CCD	Lysrör
	Uppfästning	Spänna upp slingorna	Limma mot speglar
	Strömkälla	Uppladdningsbart batteri	Extern strömtillförsel
	Placering strömkälla	Knapp på limbouse	Manöverdon i form av ipad typ
	Manöverering	Öppnar trälucka	PMMA med lucka
	Ingen insyn	Magnet	Skrufäst
Insyn	Fästen lucka	Snippfästen	Spännfästen
		Kunna svänga dem och göra det till ett spel	
Spegarna	Interaktion	Ingen	3 st + BSfilter
	Antal speglar	3 st	
Limbaffil	Material	Trä/plast	Endast trä
	Geometri	Original	Förenklad
Tillverkningsmetod	Uppfästning	Limning	Urskärning
	Yttfinish yttler	Sprayad zinc	Tejp
	Yttfinish inner	Svar spray	Svart målarfärg
	Fästning mot huset	Skruförband	Limning
		Plugg	Som en hel del
Tillverkningsmetod	Metod	Additiv	Skärande bearb
Maskiner			

Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
Trä och plast	Endast plast	Endast plast
Sprayfärg	Sprayfärg	Sprayfärg
Förenklad	Original	Förenklad
Skruv, lim	Skruförband, Lim, gångjärn	Solid
Skenor med lås	Magneter	Skenor med lås
Plaströr	EL wire	LED-slinga
3 CCD	6 CCD	3 CCD
Limma mot speglar	Limma på inbyggda "broar"	Limma på inbyggda "broar"
Behövs ingen	Uppladdningsbart batteri	Utbytesbart batteri
Behövs ingen	Okärl	Okärl
Behövs ingen	Knapp på limbouse	Knapp på limbouse
PMMA	PMMA med lucka	PMMA
fastskruvad		fastskruvad
Behövs ingen	Spännfästen	Behövs ingen
Ingen	Ingen	Ingen
3 st	3 st + BSfilter	3 st + BSfilter
Endast trä	Endast plast	Endast plast
Förenklad	Original	Förenklad
Limning, Skruvar	Skruförband	Limning
Sprayfärg	Sprayad	Sprayfärg
Svart spray	Svart spray	Svart ABS
Skruförband	Skruförband	Limning
	Additiv, mekanik, skärande, lödning, limning, skruvning	Additiv, skärande, bearbetning, limning, skruvning
Skärande/limning/skruvning		
	3D-printer, Arduino/program, laserskärare, såg, skruvdragare, borrar	3D-printer, laserskärare, såg, skruvdragare, borrar

A.4

Morfologisk matris: Solceller						
Aspekter	Möjliga alternativ		Solceller koncept A	Solceller koncept B	Solceller koncept C	Solceller koncept D
Material	Opak akrylplast	Glas	Papp / kartong	Transparent akrylplast (tonad)	Opak akrylplast	Akrylspiegel
	Transparent akrylplast	Papp / kartong				
	Akrylspiegel	Plastfilm				
	Trä	Vinylfilm				
	Plywood	Folietejp				
Bearbetningsmetod för att uppnå korrekt form	Kniv	Slipmaskin	Sax	Laserskärare	Laserskärare	Bandsåg + Slipmaskin
	Sax	Laserskärare				
	Bordssåg	Figursåg				
	Bandsåg	Skära och knäcka				
	Applicera spegelfilm	Spegelfärg				
Bearbetningsmetod för att återskapa yta och färg	Applicera blank vinylfilm	Polera	Blanksvart sprayfärg	Spegelfärg	Val av material med redan representativt utseende	Applicera tonad vinylfilm
	Applicera tonad vinylfilm	Val av material med redan representativt utseende				
	Blanksvart sprayfärg					

B. Pughmatrix

Chalmers	Pughmatrix (Relativ beslutsmatrix):			
 				
Kriterier	Alternativ			
	Ref (A)	B	C	D
	R			
	E			
	F			
	E			
	R			
	E			
	N			
	S			
				
				
				
				
Vidareutveckling				

C. Brainstorming

Hur kan vi få folk att interagera med en fysisk modell?

- Informativa skyltar
- Knappar som belyser olika delar
- Går att kliva in i och sitta i
- Bjuder in till fotomöjligheter
- Går att bygga ihop den som en byggsats
- Quiz/tävlingsmoment
- Videos som informerar
- Saker går "Att ändra på"
 - Antenner fälls ut
 - Luckor öppnas och stängs
 - lampor tänds och släcks
- Andra sinnen så som ljud och doft stimuleras
- Finns på en lättillgänglig plats som inte kräver ekonomisk insats
- Göra den "häftig" så att folk vill komma fram och interagera med den

Hur kan vi förklara tekniska lösningar/uppfinningar (som optik, stjärnkameran, solpaneler, instrumenten, sol-synkron, reaktionshjul?)

- videospel som använder de olika instrumenten
- Videos som informerar
- Instrument presenteras ihop med en infotext
- Jämförelse med saker som används i vardagen såsom mobilkamera osv
- Visa hur det fungerar med Gif
- Lasrar eller ljus visar hur ljuset färdas genom instrumentet

Hur gör vi den så lätt som möjligt?

- Bygger delar av den i papp, eller annat lättviktsmaterial
- Har den halvt virtuell
 - AR med QR-koder för hela prototypen (en vit pappmodell)
 - AR med QR-koder för att belysa vissa delar (replica med QR-koder)
- Har den helt virtuell
 - Allt är gjort i VR
- Inga onödiga komponenter
- Använda så lite material som möjligt
- Räkna på hållfastheten för att inte överdimensionera
- Låta bärande komponenter vara i starkare material än resten

Hur gör vi den transporterbar?

- Isärplockbar, byggsats, som lego med beskrivning
- Ihopvikbar - tänk en barnvagn, med leder för att böja vissa delar
- Extern låda som skyddar hela prototypen
 - Bärs som väska
 - case för ljudinstrument med hjul
- Hjul direkt på modellen
- Gör den så lätt som möjligt
- Gör den så liten som möjligt
- Uppblåsbar
- Flygande
- Gör den virtuell/delvis virtuell t.ex. genom AR
- Går att dra bakom en bil

D. Blankettundersökning

D.1 – För personer kopplade till projektet MATS

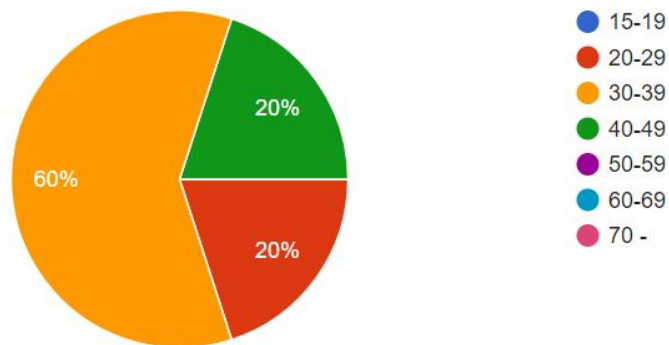
Namn:

5 svar

David Stomilovic
Linda Megner
Arvid Hammar
Ole Martin Christensen
Berenike Hanson

Ålder:

5 svar



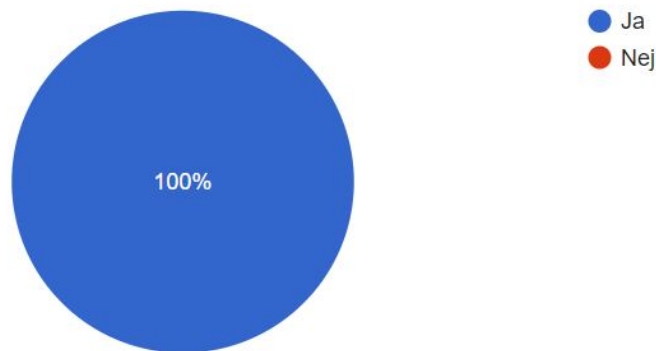
Var arbetar/forskar ni?

5 svar

Omnisys Instruments
Meteorologiska institutionen, Stockholms universitet
Omnisys Instruments och Chalmers (MC2)
Stockholm Universitet
ÅAC Microtec

Arbetar ni/har ni arbetat med MATS?

5 svar



Om Ja på föregående fråga: Vilka delar arbetade/forskade ni på?

5 svar

Konstruktion
Projektledare för forskning och utveckling av instrumentet
Design och testmätning för optik och system för ströljusundertryckning.
Databehandling och analys
Som projektledare för datahanteringssystemet (DHS) & kraftsystemet (EPS) för plattformen

Vad fick er in på rymdindustri/hur började er karriär inom rymdforskning?

5 svar

Intressant tjänst
Intresse inom fysik och atmosfär
Intresse för naturvetenskap (främst fysik) och teknik.
Jag jobbade med optik och atmosfärsmätningar
Har varit fascinerad av rymden sedan barnsben och alltid velat jobba inom branschen.

Vad tycker ni är mest intressant och skulle vilja visa med en modell av MATS?

5 svar

Limb instrumentet

Alla 4 instrument (limb, nadir, 2 fotometer), optiken (speciellt i limbinstrumentet med alla 6 kanaler), stjärnkameran och solpaneler. Det är bra om man får den att stämma rätt färgmässigt då detta är viktigt för vilka temperaturer man får.

Teleskopet och baffeln framför primärspiegeln. Burkar med sladdar mellan sig för att kunna visa på ett flöde. Man vill kunna titta in i satelliten. Plexiglas eller luckor hade varit bra.

Gravitationsvågor

DHS & EPS för plattformen som styr och strömförsörjer hela satelliten

Vad tycker ni är överflödigt att ha med i en presentationsmodell av MATS?

5 svar

Ingående komponenter

detaljerad elektronik

All form av elektronik.

Elektroniken

Alla subsystem bör vara med för att man ska förstå hur en satellit fungerar, men de kan säkert förenklas i modellen, en exakt modell är inte nödvändig.

Har ni några övriga tankar, idéer eller önskemål kring projektet?

5 svar

Nej

Det skulle vara väldigt bra om den gick att transportera på ett hyfsat lätt sätt så att man kunde ha med sig den och visa på olika konferenser och utställningar.

Byggkvalitén bör vara tillräckligt bra för att klara transport och många cykler av montering och demontering.

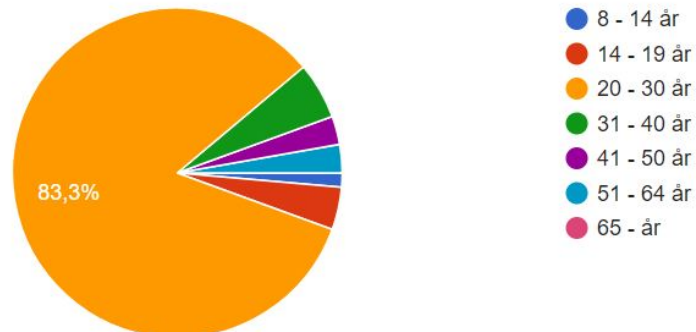
Att man kan ta ut enkelt komponenter och förklara vad de gör

Tänk på att skilja mellan plattformen InnoSat och missionen MATS. Det speciella med MATS är inte bara själva missionen (att mäta vågor i atmosfären) utan även att vi utvecklar en innovativ satellitplattform som även ska gå att användas för andra missioner utan större ingrepp.

D.2 - Allmänheten

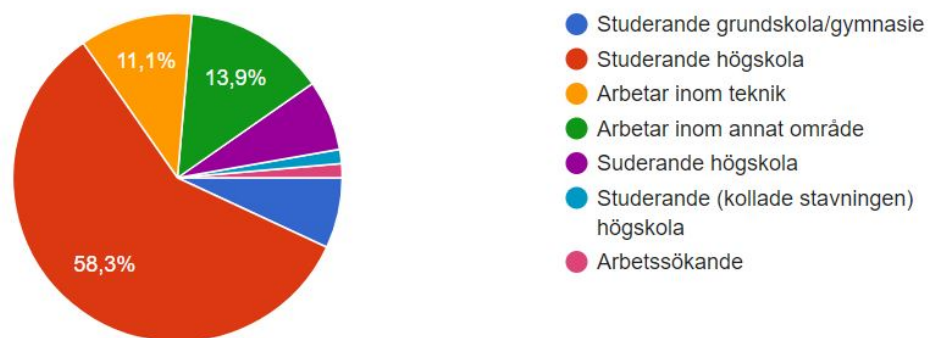
Hur gammal är du?

72 svar



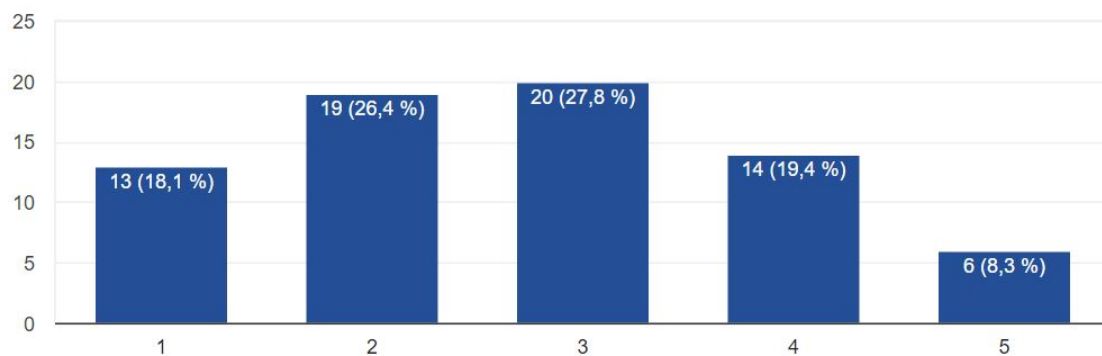
Vilken är din nuvarande sysselsättning?

72 svar



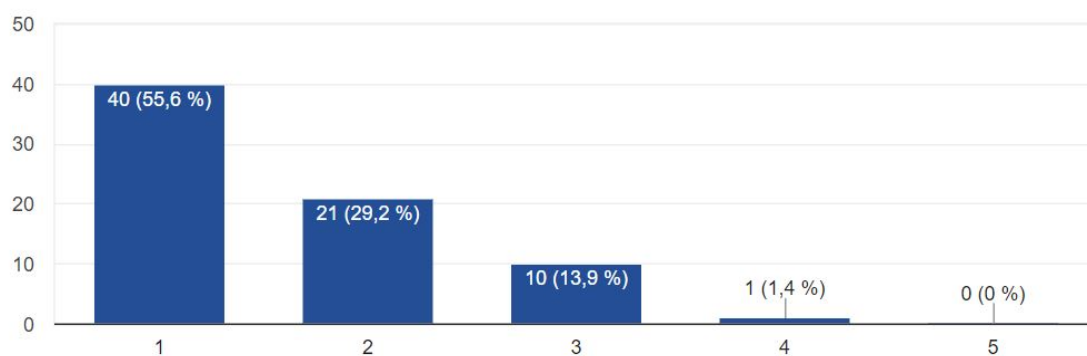
Hur stort är ditt nuvarande intresse av rymdteknik

72 svar



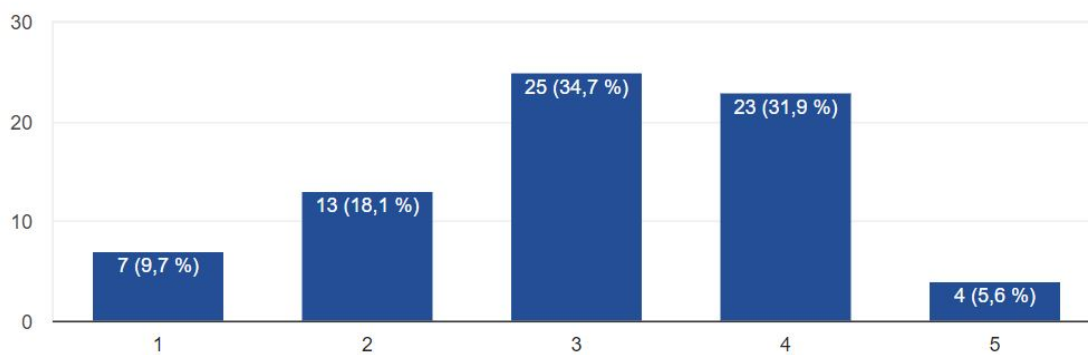
Hur mycket kan du om svensk rymdindustri?

72 svar



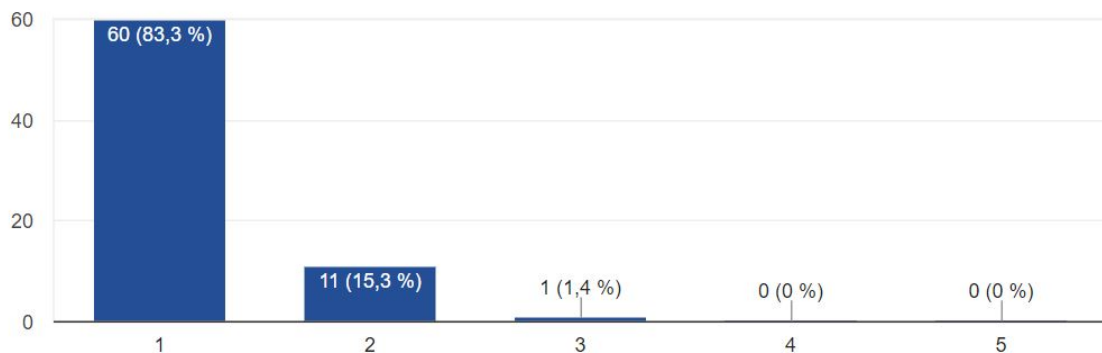
Hur intresserad är du av att lära dig mer om svensk rymdindustri?

72 svar



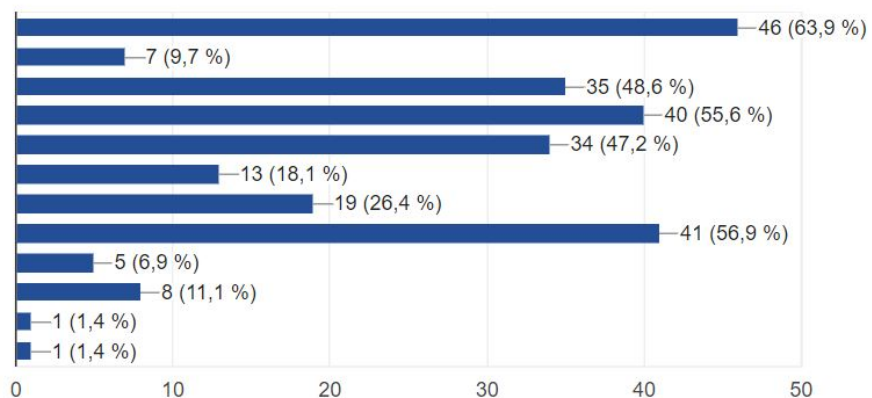
Hur mycket känner du till om satelliten MATS i dagsläget?

72 svar



Vad är enligt dig viktigast med en modell av en satellit som skall öka ditt intresse av rymdteknik? Att...

72 svar

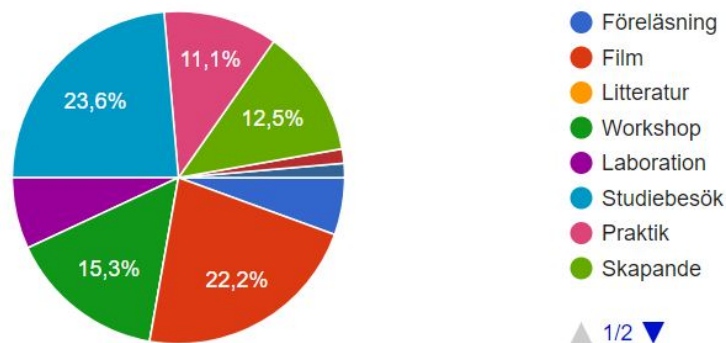


Pelarna representerar följande (Uppifrån och ned):

1. den är så verklighetstrogen som möjligt
2. den är estetiskt utformad
3. den går att interagera med
4. den är lätt att förstå
5. det går att se hur den riktiga satelliten ser ut inuti
6. detaljer syns tydligt
7. de olika delarnas funktioner beskrivs grundligt
8. de olika delarnas funktioner beskrivs kortfattat
9. den går snabbt att använda
10. den går att använda under en längre period
11. Inget av ovanstående

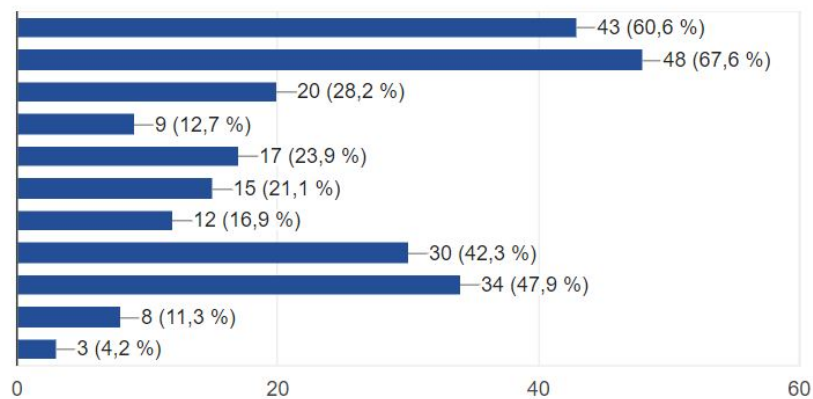
Vilket inlärningssätt anser du vara mest givande?

72 svar



Vad skulle du vilja lära dig mer om?

71 svar



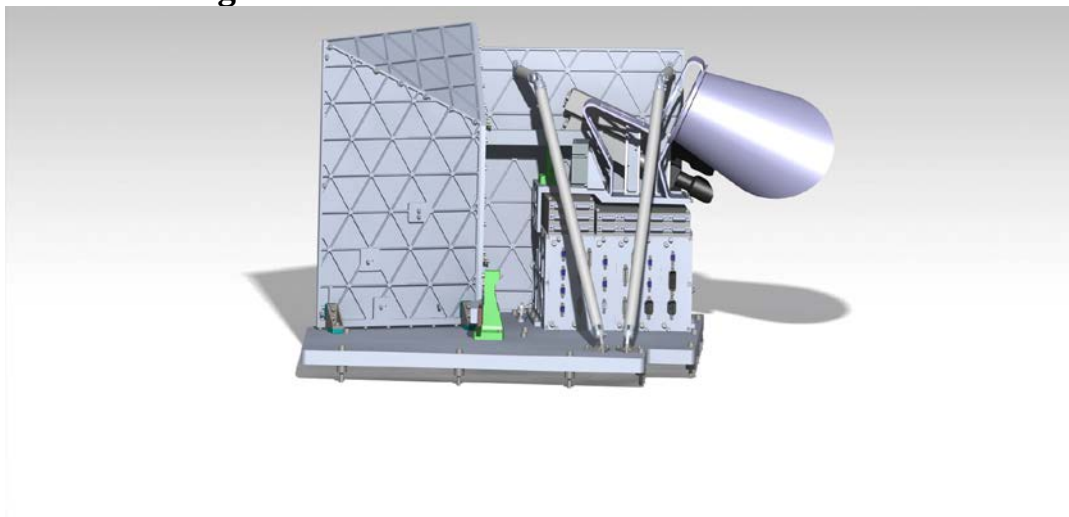
Pelarna representerar följande (Uppifrån och ned):

1. Naturfenomen som uppstår i atmosfären
2. Hur satelliter fungerar
3. Svenska satelliter
4. Svenska astronauter
5. Företag i Sverige som utvecklar rymdutrustning
6. Vilka företag som är inblandade i projektet MATS
7. Rymdfartens historia
8. Vad ett arbete inom rymdteknik innebär
9. Hur satelliter konstrueras
10. Hur modeller konstrueras
11. Inget av ovanstående

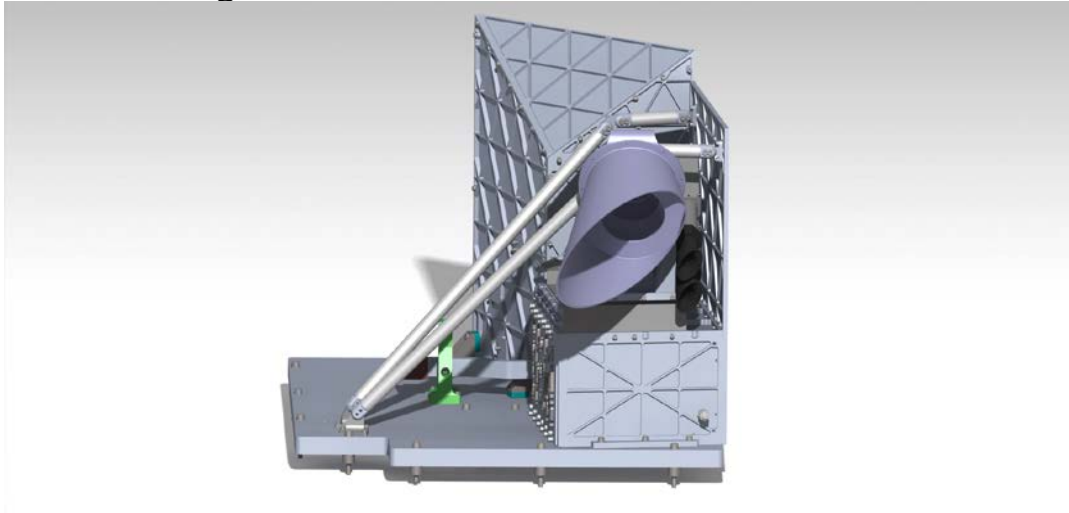
E.1 Basplatta



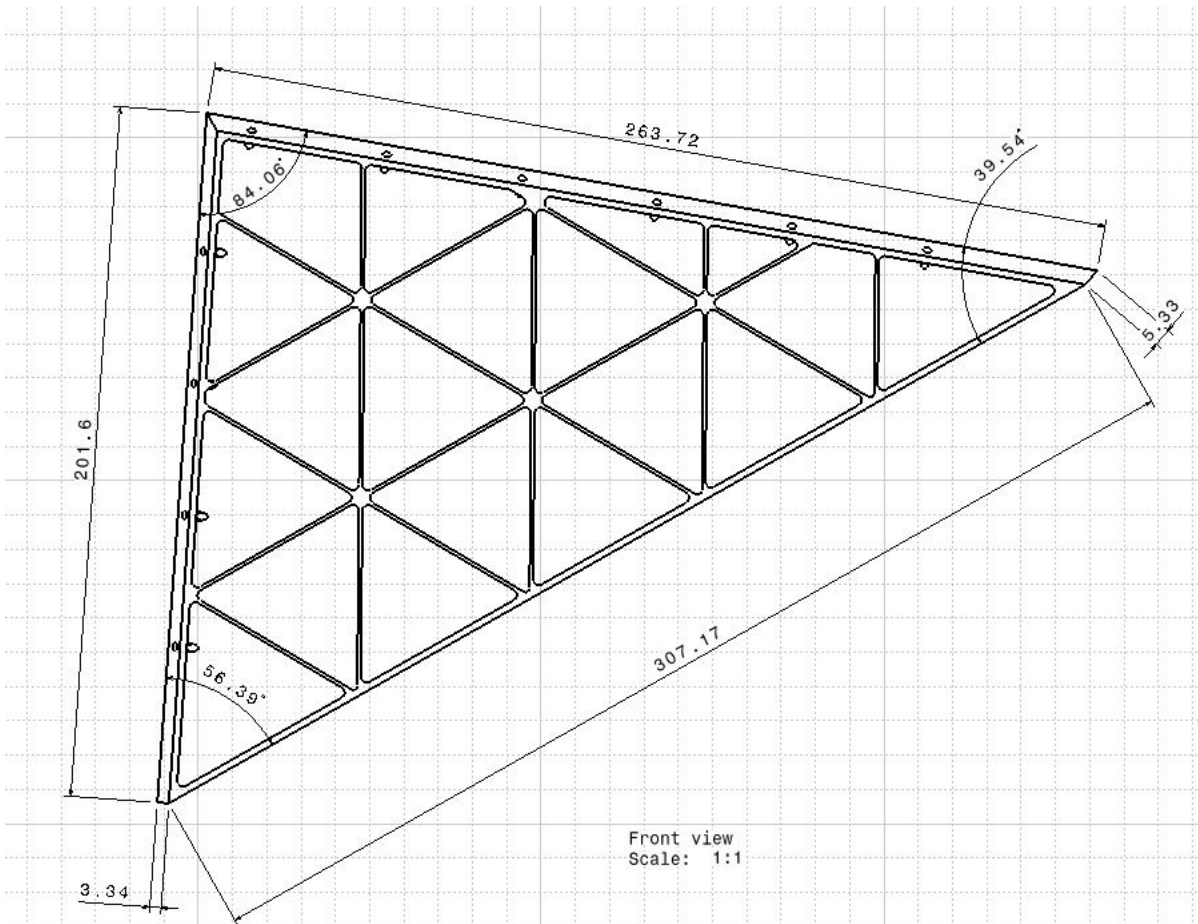
E.2 Rendering sida



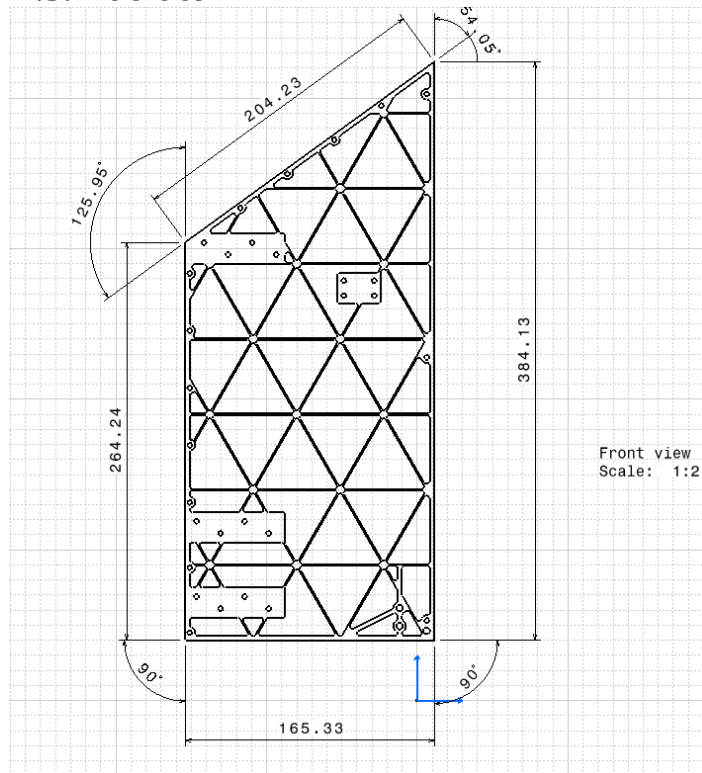
E.3 Rendering framsida



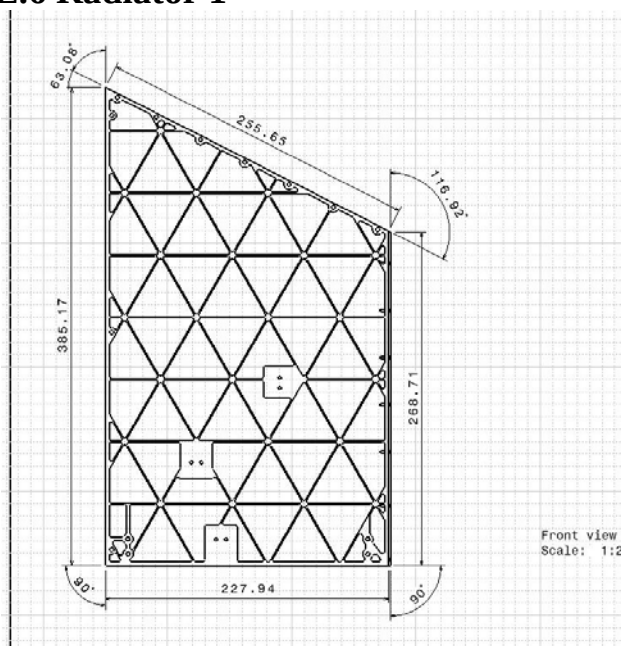
E.4 Radiator 3



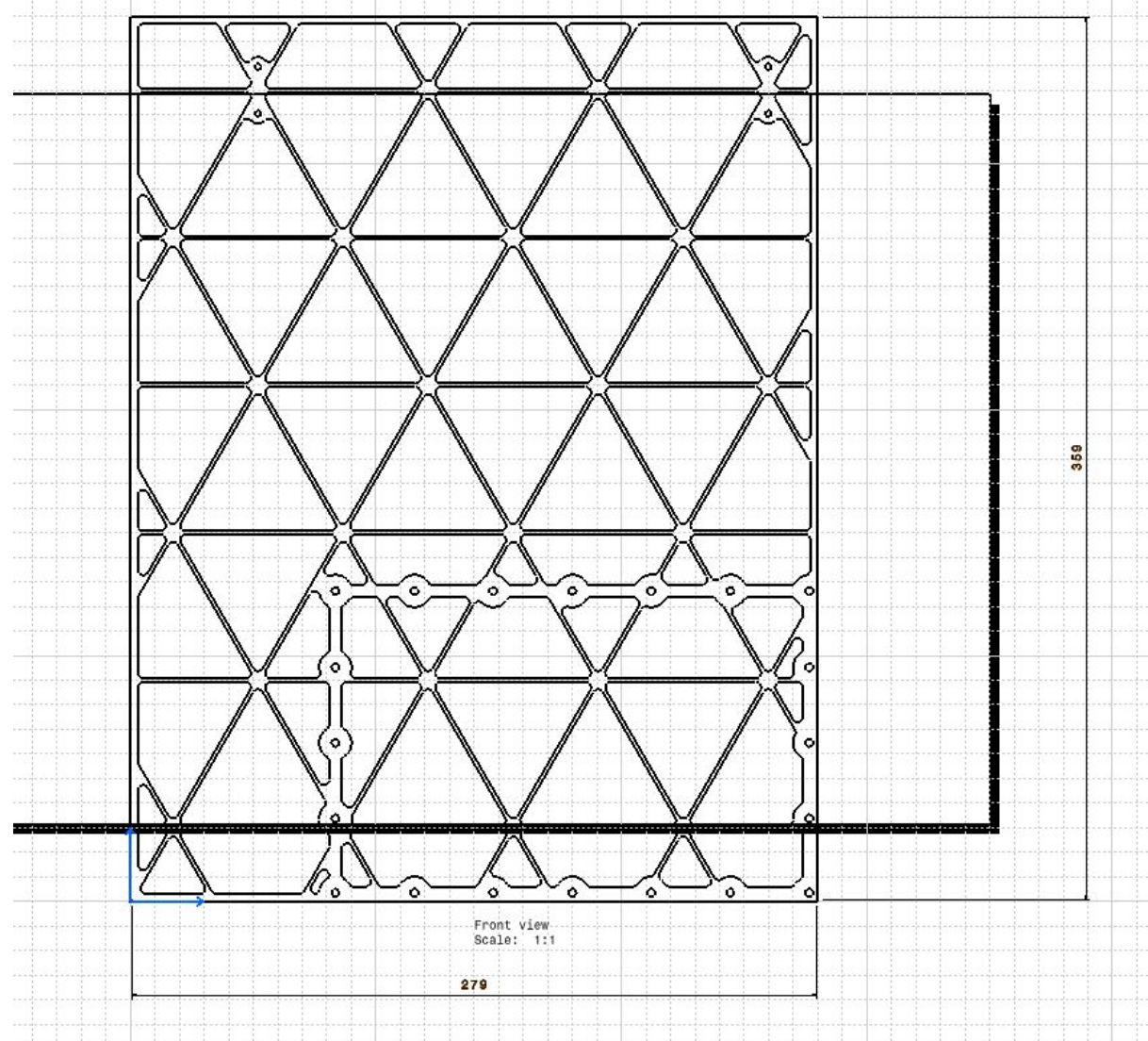
E.5. Radiator 2



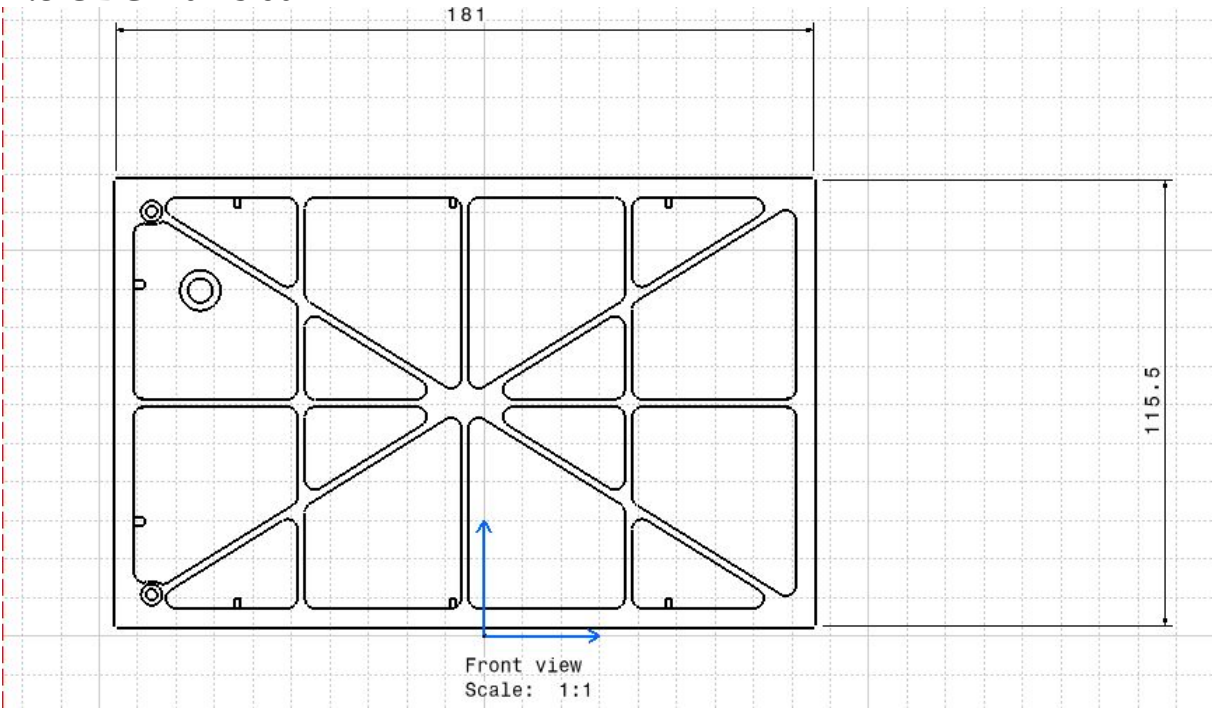
E.6 Radiator 1



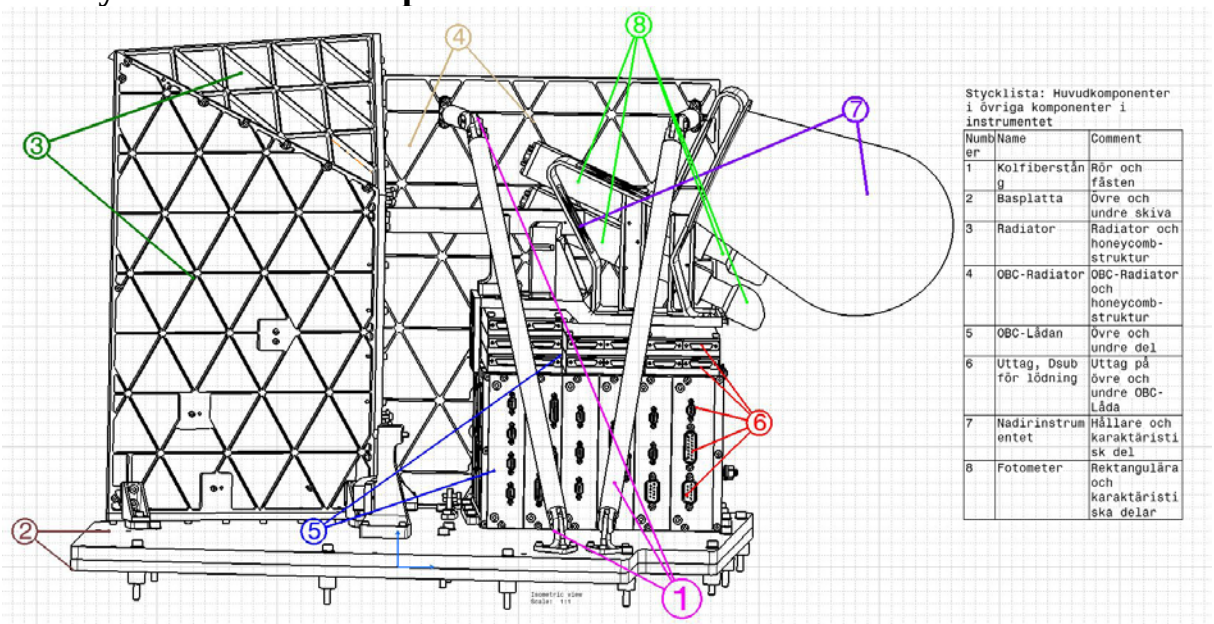
E.7 OBC-radiator



E.8 OBC framsida



E.9 Stycklista huvudkomponenter



F Intervjuer

F.1 Intervjumall

Personlig fakta

Vad heter du?

Vem är du?

Hur gammal är du?

Jobb

Var jobbar du?

Vad har du för position/arbetsuppgift?

Satelliten MATS

Hur mycket känner du till om MATS i dagsläget?

Prototyper/presentationsmodeller

Vad är det viktigaste med en modell?

Hur arbetar ni? Förklara hela processen

Vad tycker ni framhäver en känsla/information bäst? Interaktion, text, bilder...

Vad använder ni för material?

Vad använder ni för tillverkningstekniker?

Prototypen MATS

Hur hade ni gjort för att presentera MATS på bästa sätt?

Vilka aspekter hade varit viktigast att ha i åtanke?

Vilka risker ser du med projektet?

Rymdstyrelsen

Frågor för att lära känna

- Berätta om RS och vad ni gör här
- Vad har du/ni för utbildning? (Fråga ej för att "sätta på plats" utan av intresse)
- Hur hamnade du/ni på RS?
- Vad är din/er roll på RS?
- Varför tycker du/ni att det är intressant med att jobba på RS. (Om inte så varför)

Frågor om projektet MATS

- Sverige har genom tiderna skickat upp en rad satelliter, vilka nästan alla på ett eller annat sätt studerar atmosfären. Även MATS är ett projekt som skall studera ett fenomen som uppkommer i atmosfären.
 - Till vilken grad är den informationen användbar inom forskning? Har tidigare insamlad data från till exempel ODIN eller PRISMA bidragit till någonting konkret inom forskning?
 - Kan andra länder använda insamlad data till forskning eller är det bara sverige/ESA-länder som får tillgång till den?
- Vad är Rymdstyrelsens roll i projektet Mats?
- Är det något utslag som RS hoppas på eller har ni inga förväntningar när det kommer till mätdata?
- På vilket sätt har du/ni varit inblandade i projektet?
- Vad har för RS del varit svårast i projektet?

Frågor om modellen MATS

- Vad skulle ni vilja se på en modell av MATS?
- Vad är viktigast? Att modellen är så lik den riktiga satelliten som möjligt eller att den drar uppmärksamhet till sig?

- Finns det några modeller på andra satelliter som är finansierade av RS och i så fall var är dem?
- Om det finns andra modeller av satelliter, vad gör dem bra/dåliga?
- Hur skulle en modell av MATS i skala 1:1 kunna användas?

Övrigt

Ni säger att det blir många möten med ESA. Hur möts ni under era möten? Åker ni till varandra eller har ni skypesamtal?

OHB

Frågor för att lära känna

- Berätta om OHB och vad ni gör här.
- Vad har du/ni för utbildning? (Fråga ej för att "sätta på plats" utan av intresse)
- Hur hamnade du/ni på OHB?
- Vad är din/er roll på OHB?
- Varför tycker du/ni att det är intressant med att jobba på OHB. (Om inte så varför)

Frågor om projektet MATS

- Vad är OHBs roll i projektet Mats?
- På vilket sätt har du/ni varit inblandade i projektet?
- Vad har för OHBs del varit svårast i projektet?

Frågor om modellen MATS

- Vad skulle ni vilja se på en modell av MATS?
- Vad är viktigast? Att modellen är så lik den riktiga satelliten som möjligt eller att den drar uppmärksamhet till sig?
- Finns det några modeller på andra satelliter som är finansierade av RS och i så fall var är dem?
- Om det finns andra modeller av satelliter, vad gör dem bra/dåliga?
- Hur skulle en modell av MATS i skala 1:1 kunna användas?

F.2 Transkribering

Transkribering av: Robin Liljas presentation av satelliten MATS ingående komponenter från studiebesök på OHB Sweden AB

Som ni kommer inse är själva Mats instrumentet kanske det som Ole-Martin är mest intresserad av. Det vi bygger, plattformen, eller servicemodulen då som vi kallar den är en ganska tråkig box men andra små boxar i så det kanske inte är där ni vill ha fokus.

Det finns många forskare som vill göra den här typen av mätningar och då ska vi uppfylla deras vetenskapliga krav vad det gäller pekning. Det är en stor grej för oss, vi har en avdelning som bara jobbar med attitüdsystem. Det vi kallar AOCS attitude orbit control systems. Så vi ska peka det här teleskopet på en specifik punkt i atmosfären, den här mesopausen som ni kanske hört talas om. Det ställer ju då pekkrav på vår del och vi måste då möta upp det med rätt typ av sensorer, rätt typ av actuator, reaktionshjul, magnetorquers, startracker, magnetometer.

Huvudattributen på hela instrumentet är bottenplattan som är en hembygd honeycomb kan man säga. Typ en bikaka i tunn aluminium och sen två facesheets som man limmar ihop. Och det är det de har gjort i botten då så de har en styv panel som man kan skruva allting på.

All optik ligger i det som vi kallar för limb-housing. I buffern har vi ljusinsläpp och sen sitter det lite filter och lite speglar. Allt förutom spegeln som sitter vid insläppet för att rejecta ströljus, den sitter skruvad på vår plattform, men allt annat har ett väldigt enkelt mekaniskt interface i fästningspunkterna. Om man tittar på tidigare satellitprojekt så har man oftast byggt satelliten runt instrumentet. Det här konceptet med innosat det är att vi bygger en låda och på den här lådan kan man skruva en mängd olika instrument. Vi började då med ett antal olika instrument och försökte bygga en låda som skulle passa alla. Det som är lite typiskt för just den här satelliten är att nästan alla svenska projekt har gått i det som man kallar för dawn-dusk orbit så då flyger man solsynkront så banan vrider sig lika mycket som jorden vrider sig runt solen. Det betyder att man kommer ha en nästan konstant vinkel mot solen hela året även om den varierar lite grann beroende på jordaxelns vinkel. Man flyger hela tiden i gränslandet mellan dag och natt så det gör att vi alltid kommer ha solen åt ett håll och därför räcker det med att bara ha en solpanel. Här har vi alltså våra solceller men den fungerar också som ett skydd för instrumentet som vi inte vill ska belysas av solen. Ju varmare optiken blir ju mer termiskt brus får man i sina bildsensorer. Därför finns det också radiatorer på andra sidan och det här är bara stora ytor som ser väldigt mycket rymd och så har de rätt optiska egenskaper så de har högre emissivitet än absorption. De ger ifrån sig mer energi än vad de får in och sitter kopplade med kopplarflätor till sensorerna som man vill leda bort värmen från.

Här sitter våra stjärnkameror på en bracket. Under uppskjutningen kommer de utsättas för extrema vibrationer och även sen ute i rymden kommer förbanden sätta sig så att man får en misalignment över åren vilka vi kallar för eklipser. Beroende på vilket håll man flyger i banan kommer man få tre månader på sommaren och tre månader i vintern och här blir det solförmörkelse. Man flyger alltså in i natten och inte precis i det här gränslandet. Det här betyder alltså att det blir natt och då kommer temperaturen att sjunka och då kommer saker börja röra sig. Man får termisk deformation och därför vill vi hålla den här sträckan så kort som möjligt. Så den här är lite undantag, annars har vi hållit payload och plattform så särskilda som möjligt men vi har tillåtit vissa grejer som att deras spegel sitter på vår kropp med ett speciellt interface och vi har startrackern här också då.

Man ser inte det här nu men det mesta av instrumenten och plattformen också kommer att täckas med folie så det blir öppningar sen för startrackern och radiatorytorna men sen är det mesta täckt i någon form av guldfolie. Antennerna är också öppna, spegeln är frigående, buffern vet jag inte riktigt, det är på instrumentsidan. Allt det här täcks i MLI då vilket står för Multi Layer Insulation som är en metalliserad kaptonfilm med ett mesh/grid/nät emellan. Man har då ett antal lager film och för att det inte ska bli någon konduktivitet emellan. Det är alltså ett finmaskigt nät som ser till att de olika lagren bara strålar till varandra för i vakuum finns det ju ingen luft som kan leda värme emellan dem. Så det som skjuts upp kommer ju inte alls se ut som det man ser i cadden.

Innsidan av innosat

Det här är då vår MPCDU som är själva hjärtat i kraftsystemet. Den tar emot strömmen från solpanelen, den ser till att alla enheter från sin strömmatning och den består egentligen av ett antal automatsäkringar. I och med att det finns en strålningsmiljö och det kan komma en elak, tung jon som träffar någon elektronik så att det blir en kortslutning då vill man skydda elektroniken och då har vi det vi kallar för LCL som är en slags elektronisk automatsäkring och den slår då ut och stänger av strömmen i den här enheten. Sen är den också ansvarig för att ladda vårt batteri så det finns då logik för att ta emot strömmen från solpanelen, fördela denna till alla enheter ombord och ladda batteriet. Sen har vi lite andra grejer den gör där vi mäter temperaturen lokalt och lite sånt.

Den här boxen är vår omborddator som består av två kort, ett som har den mjukvara som hanterar satelliten med all attitydpekning, all tidskrökning, som styr satelliten helt enkelt. Sen på det andra kortet har vi interfacet mot vår radio ombord, det har också allt massminne och all mätdata dumpas ner till det här och sen när satelliten befinner sig i delen av banan ovanför vår markstation så dumpar man ner detta snabbt till marken.

Här har vi en magnetometer, det finns lite olika typer av magnetometrar men den här har en sensor typ som man hittar i en telefon idag. Det är ingen specialgrej utan en kommersiell historia. Vi har också 3st fiberoptiska gyron och det som är lite speciellt med mats är att vi inte bara har pekkrav utan också pekstabilitet alltså det gäller inte bara att peka rätt utan man ska också vara stabil runt den punkten. I tidigare svenska projekt har man bara haft pekkrav och inte stabilitetskrav så det är något vi har jobbat ganska mycket med. Varje gyro innehåller typ 2km ljusfiber och så skjuter man in en laser åt var sitt håll. Om den här fiberspolen sen roterar kommer lasern i ena fiberknippet komma lite innan det andra och då kan man mäta interferensen där emellan de här två laserpulserna och räkna på hur mycket det roterar. När vi ställer den här nere i labbet kan vi t.o.m. mäta jordrotationen. Den funktionen hittar man typiskt sett inte i en iPhone.

Vi har en GPS-mottagare och bredvid den har vi vår S-bandradio som jobbar i 2.2–2.4Ghz bandet och ger oss ca 2 till 5 Mbit ned och typ 64Kbit upp för det är man inte lika intresserad av. Det viktiga är att få ner datan snabbt för ett pass rakt ovanför markstationen tar typ 12 minuter från horisont till horisont så på den tiden måste man dumpa ner all mätdata. Visst, man kan ha flera pass men det driver upp kostnaderna så att få ner allt på ett pass är mest effektivt. Sen har vi S-bandantennerna som sitter på toppen och botten. Toppen kommer alltid peka mot zenit men de är nästan omnidirektionella så om vi skulle tappa attityden så spelar det inte så stor roll åt vilket håll satelliten pekar utan vi kommer alltid ha täckning ändå så vi kan kommendera den från marken. Vi hade en tanke om att det skulle vara asymmetrisk effektdelning så vi kunde ha högre gain i den primära men nu är det 50/50 tyvärr.

Det finns tre stycken reaktionshjul så det är tre stycken hjul och en motor så om vill man rotera runt satelliten spinner man upp hjulet åt ena hållet och så vill satelliten snurra åt andra hållet. De är öppna dessutom men Oskar har ritat fina kåpor vi ska lägga runt dem för vi är lite nervösa att det ska lossna något som lägger sig och fastnar i dem. De här kommer ju bli mätta till slut för man kan ju inte spinna dem i all oändlighet och då måste man dumpa det momentet. För det har vi då våra magnetorquers då som är tre stycken elektromagneter kan man säga. Man mäter då jordmagnetfältet och listar ut hur man kan ska köra ström i de här spolarna och med hjälp av jordens magnetfält kommer man då få en kraft som gör att vi kan spinna ner hjulen. De här magnetorquersarna är lite för långa så att den här som är riktad i z riktningen går igenom ett hål och sticker ut. Det ser ju ut lite som en nödlösning det här men det är ganska mycket dyrare att köpa två olika typer av magnetorquers utan man vill ställa samma specifikation. Det är ganska omständligt att köpa rymdhårdvara och det kräver mycket testning och designarbete.

Skulle man haft en större satellit skulle man behövt honeycombpaneler och det hade vi också tänkt använda från början. I dessa limmar man in aluminium inserts med gängor för att skruva i men då måste man ha ganska mycket marginaler mellan insertsen och det blir dödyta som vi inte kan utnyttja och det blir svårt att få ihop allt. Det behövs dessutom någon form av brackets för att foga ihop panelerna och det äter ganska mycket volym. Istället har vi nu en design där vi har gängor direkt i

delarna och så skruvar vi ihop dem i kanterna. Eftersom det garanterat kommer vara något som är fel och där vi måste komma åt insidan för att t.ex. uppdatera mjukvaran i omborddatorn efter att någon hittat någon bugg vill vi inte att den är som en modern bil där man måste skruva isär hela för att komma åt bränslepumpen. Ett designmål har varit att man ska kunna skruva av sidorna i x-led och primärt då den här utan antenner och därefter komma åt så mycket som möjligt av insidan för att göra service.

Hela den undre delen är ett separationssystem och vi ska ju då åka upp på en rysk raket, en Soyuz 2.1