

2015-09-23

Effektutvärdering av Rymdstyrelsens åtaganden i stora instrumentprojekt i plasmafysik

Impact evaluation of the Swedish National Space Board's commitments to large instrument projects in plasma physics

Tomas Åström, Anders Håkansson och Karolina Henningsson

Effektutvärdering av Rymdstyrelsens åtaganden i stora instrumentprojekt i plasmafysik

Impact evaluation of the Swedish National Space Board's commitments to large instrument projects in plasma physics

Faugert & Co Utvärdering AB, 2015-09-23

Tomas Åström, Anders Håkansson och Karolina Henningsson

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| Sammanfattning | 1 |
| Resultat och effekter på forskargrupperna | 1 |
| Effekter i det omgivande samhället | 2 |
| Rymdstyrelsens roll och funktion | 2 |
| Summary | 3 |
| Results and impact on the research groups | 3 |
| Societal impact | 4 |
| The SNSB's role and function | 4 |
| 1. Inledning | 5 |
| 1.1 Bakgrund | 5 |
| 1.2 Uppdraget | 5 |
| 1.3 Utvärderingsobjekt | 6 |
| 1.4 Genomförande | 6 |
| 1.5 Rapportens disposition | 7 |
| 2. De åtta instrumentprojekten | 8 |
| 2.1 Cluster | 8 |
| 2.2 Mars Express | 11 |
| 2.3 Venus Express | 12 |
| 2.4 Magnetospheric Multiscale MMS | 12 |
| 2.5 BepiColombo | 13 |
| 3. Resultat och effekter på forskargrupperna | 16 |
| 3.1 Finansiering | 16 |
| 3.2 Konkurrenskraft | 18 |
| 3.3 Personal och mobilitet | 19 |
| 3.4 Forskarutbildning | 20 |
| 3.5 Vetenskaplig kvalitet | 21 |
| 3.6 Vetenskaplig produktion | 24 |
| 3.7 Möjliggörande faktorer | 26 |
| 3.8 Risker med deltagande i instrumentprojekt | 27 |
| 4. Effekter i det omgivande samhället | 28 |
| 4.1 Innovation och kunskapsöverföring | 28 |
| 4.2 Långsiktiga samhällsliga effekter | 29 |
| 5. Rymdstyrelsens funktion och roll | 30 |
| 5.1 Rymdstyrelsens funktion | 30 |

| | |
|---|----|
| 5.2 Rymdstyrelsen som finansiär och projektuppföljare | 30 |
| 5.3 Rymdstyrelsen som diplomat | 30 |
| 5.4 Varför stödja svenska deltaganden i stora instrumentprojekt? | 30 |
| <hr/> | |
| 6. Slutsatser och diskussion | 32 |
| 6.1 Slutsatser | 32 |
| 6.2 Reflektion | 33 |
| <hr/> | |
| Bilaga A Förkortningar | 37 |
| Bilaga B Intervjupersoner och deltagare i tolkningsseminarium | 39 |
| Bilaga C Scientific peer review report: Swedish contributions to selected missions in Space Physics | 41 |

Sammanfattning

Föreliggande rapport sammanfattar en effektutvärdering av Rymdstyrelsens åtaganden i urval av stora instrumentprojekt i plasmafysik. Utvärderingen har omfattat fem rymdprojekt med svenska deltaganden i sammanlagt åtta instrumentprojekt. Tre av rymdprojekten är (eller har varit) i drift, ett är på väg att tas i drift, medan ett ännu inte har lämnat jordens yta. De svenska deltagarna är Institutet för rymdfysik i Kiruna och i Uppsala, samt Institutionen för rymd och plasmafysik vid Kungliga Tekniska högskolan.

Effektutvärderingen har haft i uppdrag att kartlägga projektens effekter på forskargrupperna och på samhället, vad som utgör gynnsamma förutsättningar för och risker med medverkan i instrumentprojekt, vilka argumenten är för Rymdstyrelsen att stödja instrumentprojekt, samt Rymdstyrelsens roll och funktion.

Datinsamlingen har bestått av dokumentstudier, en självvärderingsenkät, tre platsbesök, 24 intervjuer samt ett tolkningsseminarium. Parallellt med detta arbete har Rymdstyrelsen låtit genomföra en expertgranskning av stödmottagarnas vetenskapliga produktion, och experternas bedömningar har använts som underlag i utvärderingen. Effektutvärderingen har genomförts under perioden december 2014–september 2015.

Resultat och effekter på forskargrupperna

Rymdstyrelsens åtagande i ett stort instrumentprojekt innebär i praktiken säkrad delfinansiering för forskargruppen under ett instruments hela utvecklingsfas. Bär forskargruppen dessutom huvudansvaret för instrumentet under dess driftsfas så har Rymdstyrelsen på samma sätt i praktiken åtagit sig att delfinansiera även denna. Rymdstyrelsen är gruppernas huvudsakliga finansiär även för forskning på data från instrumenten, men forskargrupperna utnyttjar också andra forskningsfinansiärers möjligheter. Snöbollseffekten av att ha deltagit i utvecklingen av ett framgångsrikt instrument är uttalad. I ett första led är möjligheterna att erhålla forskningsfinansiering – främst från Rymdstyrelsen – då mycket goda. I ett andra led resulterar forskningen i akademisk produktion. I ett tredje led ökar möjligheterna att komma med i framtida instrumentprojekt, såväl genom det framgångsrika instrumentprojektet som sådant som genom den akademiska produktionen – vilket i sin tur ökar möjligheterna att få Rymdstyrelsefinansiering både till instrumentutveckling och -drift, och senare till forskning. Den goda cirkeln är sluten.

Det står klart att det är en serie instrumentprojekt som har fört de tre forskargrupperna till deras nu internationellt framstående positioner. Ett viktigt fundament var en serie svenska småsatellitprojekt under 1980- och 1990-talen. Gruppernas medverkan i de nu studerade rymdprojekten har byggt vidare på detta renommé och grupperna har därefter kommit med i nya instrumentkonsortier på senare rymdprojekt. Forskargrupperna har alltså successivt byggt upp erfarenhet och renommé som har gjort dem konkurrenskraftiga och efterfrågade. Detta har förbättrat förutsättningarna att få ta ledande positioner i framtida instrumentkonsortier, vilket i sin tur ökar möjligheterna att få delta i prestigefyllda rymdprojekt. Den goda cirkeln är således sluten även i detta avseende.

Forskargrupperna präglas av kontinuitet och låg personalomsättning bland seniora forskare, särskilt när det gäller de nyckelpersoner som leder stora instrumentprojekt. Det finns emellertid en återväxt och planer för hur yngre forskare gradvis ska fasas in i stora instrumentprojekt. Åtminstone 60 seniora forskare har varit aktiva i projekten sedan 1999, varav endast två kvinnor. Storleken på en forskargrupp som arbetar med ett instrument varierar inte så mycket över dess livstid, och den mobilitet som förekommer bland seniora forskare sker främst med gruppernas återkommande samarbetspartners i utlandet.

Sedan 1999 har 24 doktorer, varav sex kvinnor, examinerats. Drygt 40 procent av doktorerna verkar utanför Sverige, och flera av dem är kontaktpersoner för utländska organisationer i nu pågående instrumentprojekt. Åtminstone två tredjedelar av dem som idag är verksamma i Sverige arbetar inte med rymdrelaterad verksamhet.

Sammanlagt har forskarna sedan 1987 publicerat närmare 600 vetenskapliga artiklar med anknytning till de åtta instrumenten, varav ungefär två tredjedelar kan hänföras till instrumenten på det äldsta rymdprojektet. För de tre rymdprojekt som är i drift, bedömer experterna att den vetenskapliga kvalitén på publikationerna är mycket hög och att instrumentprojekten har varit mycket betydelsefulla för utvecklingen av gruppernas internationella renommé. Vidare bedöms grupperna ha varit mycket framgångsrika i sin kunskapsspridning utanför forskarsamfundet. Experterna när höga förväntningar på forskningens kvalitet även för instrument på rymdprojekt som ännu inte har hunnit leverera data. Experterna bedömer att Rymdstyrelsens investeringar i utveckling och drift av de instrument som redan är i drift står i proportion till den vetenskapliga produktionen. För de instrument som ännu inte har levererat data är deras förväntningar i detta avseende mycket höga.

Gruppernas erfarenheter av instrumentprojekt och deras internationella nätverk är helt avgörande för att ge dem centrala roller i nya instrumentprojekt. Rymdstyrelsens finansiering är dock helt avgörande för deras möjligheter att överhuvudtaget kunna medverka i instrumentprojekt, och myndigheten är också en mycket viktig finansiär av forskning baserad på data från instrumenten.

Att bygga och sända upp en satellit är i grunden ett riskfyllt företag, och många risker ligger bortom instrumentkonsortiernas kontroll. Givet de långa utvecklingstiderna uppfattas personalomsättning som en riskfaktor. Det är också viktigt att upprätthålla en kontinuitet i verksamheten för att kunna upprätthålla och utveckla gruppens kompetens, men det är en utmaning att finna en jämn arbetsbörda för både ingenjörer och forskare. Det kan lätt bli antingen för få eller för många parallella projekt. Det finns också en inlåsningsrisk med att delta i stora instrumentprojekt, eftersom resurser binds upp under lång tid.

Effekter i det omgivande samhället

Det ska noteras att forskargruppernas uppdrag primärt är vetenskapligt, och deras vetenskapliga produktion är både omfattande och av hög kvalitet. Forskningsresultaten i sig bidrar till en ökad förståelse för de fenomen som styr rymdvärdet, vilken behövs för att i framtiden kunna prognosticera det. Effekterna i det omgivande samhället står därutöver främst att finna i de 24 doktorer som har examinerats, varav 14 idag arbetar i Sverige. Merparten av dessa 14 arbetar inte med rymdrelaterad verksamhet, vilket resulterat i kunskapsspridning till samhället i en vidare bemärkelse. Därtill kommer tre seniora forskare som har gått från de tre grupperna till andra svenska arbetsgivare, samt ett stort antal mastersstudenter. Det förefaller rimligt att anta att forskargruppernas framgångsrika kunskapsspridning utanför forskarsamfundet har bidragit till att locka fler studenter till tekniska och naturvetenskapliga utbildningar.

Rymdstyrelsens roll och funktion

Rymdstyrelsen anses vara en kompetent finansiär av både instrumentutveckling och forskning. Myndigheten upplevs också göra ett gott arbete för att bereda vägen för svenska deltaganden i internationella instrumentprojekt.

Det finns ett antal möjliga argument till varför Rymdstyrelsen ska stödja svenska deltaganden i stora instrumentprojekt. Dessa spänner från rent filosofiska till krasst rationellt ekonomiska.

Summary

This report summarises an impact evaluation of commitments made by the Swedish National Space Board (SNSB) to co-fund a selection of large instrument projects in plasma physics. The evaluation has encompassed five space missions with Swedish participation in a total of eight instrument projects. Three missions are (or have been) in operation, one is about to be commissioned, and one has not yet left the Earth's surface. The Swedish participants are the Swedish Institute of Space Physics in Kiruna and in Uppsala, and the Department of Space and Plasma Physics at the Royal Institute of Technology.

The impact evaluation was tasked with identifying the projects' impact on the research groups and on society, what constitutes favourable conditions for and risks of participation in instrument projects, the rationale for the SNSB to support instrument projects, and the SNSB's role and function.

Data collection consisted of document studies, a self-assessment questionnaire, three site visits, 24 interviews and an interpretation seminar. In parallel with this work, the SNSB commissioned a peer review of the beneficiaries' scientific production, and the experts' assessments have been used as a data source for the evaluation. The evaluation was carried out between December 2014 and September 2015.

Results and impact on the research groups

The SNSB's commitment to a large instrument project in practice means secured co-funding for the research group during the instrument's entire development phase. Moreover, if the research group has the main responsibility for the instrument during its operation, the SNSB has in practice similarly committed to co-fund this phase as well. The SNSB is also the groups' main funder of research on data from instruments, although the research groups also utilise funding opportunities from other agencies. The snowball effect of having participated in the development of a successful instrument is pronounced. In a first stage, the possibility of obtaining research funding – mainly from the SNSB – is then very good. In a second stage, the research results in academic output. In a third stage, the opportunities to get involved in future instrument projects increase, both due to the successful instrument project as such and through the academic output – which in turn increases the possibilities of received funding from the SNSB for both instrument development and operation, and later for research. The virtuous circle is closed.

It is obvious that it is a series of instrument projects that has brought the three research groups to their present, internationally prominent, positions. An important foundation was laid through series of Swedish small-satellite projects in the 1980s and 1990s. The groups' involvements in the missions at hand have built on this reputation and the groups have subsequently become part of additional instrument consortia on later space missions. The research groups have thus gradually built up experience and reputation that have made them competitive and in demand. This has improved their possibilities to take leading positions in future instrument consortia, which in turn increases the opportunities to participate in prestigious space missions. The virtuous circle is thus closed also in this respect.

The research groups are characterised by continuity and low staff turnover among senior researchers, especially when it comes to the key individuals who lead large instrument projects. There are nevertheless a new cadre of researchers in training and plans for how young researchers gradually are to be phased into large instrument projects. At least 60 senior researchers have been active in the projects since 1999, but only two women. The size of a research group engaged in an instrument does not vary much over its lifetime, and the mobility that occurs among senior researchers primarily takes place with the groups' recurring foreign collaboration partners.

Since 1999, 24 PhDs have graduated, including six women. More than 40 percent of them work outside Sweden, and several of them are contact persons of foreign

organisations in on-going instrument projects. At least two-thirds of the PhDs currently active in Sweden do not work with space-related activities.

Altogether, the researchers have since 1987 published nearly 600 scientific articles related to the eight instruments, of which approximately two-thirds can be attributed to the instruments on the oldest mission. For the three missions that are in operation, the experts judge that the scientific quality of the publications is very high and that the instrument projects have been most important for the development of the groups' international reputation. Furthermore, the groups are deemed to have been very successful in disseminating knowledge beyond the research community. The experts harbour high expectations for the quality of research also for the instrument on missions that have not yet delivered any data. The experts judge that the SNSB's investment in development and operation of the instruments already in operation is commensurate with the scientific production, and their expectations in this regard are very high for the instruments that have not yet provided any data.

The groups' experiences of instrument projects and their international networks are crucial for them to land key roles in new instrument projects. However, the SNSB's funding is critical to their ability to be able to participate in instrument projects in the first place, and the Board is also a very important funder of research based on data from the instruments.

To build and launch a satellite is by definition a risky endeavour, and many risks are beyond the control of the instrument consortia. Given the long development times, staff turnover is perceived as a risk. It is also important to maintain continuity in operations to maintain and develop the group's competence, but it is a challenge to establish a steady workload for both engineers and scientists. One can easily end up with either too few or too many parallel projects. There is also a lock-in risk of participating in large instrument projects, since resources are tied up for a long time.

Societal impact

It should be noted that the research groups' mission is primarily a scientific one, and their scientific production is both comprehensive and of high quality. The research itself contributes to a better understanding of the phenomena that govern space weather, which is needed to be able to predict it in the future. Further societal impact is primarily to be found in the 24 PhDs that have graduated, 14 of which currently work in Sweden. Most of these 14 PhDs do not work with space-related activities, which results in knowledge dissemination to society in a wider sense. In addition, three senior researchers have left the three groups for other Swedish employers, and a great number of master's students have graduated. It seems reasonable to assume that the research groups' successful knowledge dissemination beyond the research community has helped attract more students to technical and scientific studies.

The SNSB's role and function

The SNSB is considered a competent funder of both instrument development and research. The Board is also perceived as doing a good job facilitating the Swedish participation in international instrument projects.

There are a number of potential arguments for the SNSB to support Swedish participation in large instrument projects. These range from purely philosophical ones to purely rational economic ones.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Rymdstyrelsen finansierar rymdforskning av grundvetenskaplig karaktär inom områden som astronomi, rymdfysik, atmosfärsforskning och geofysik. Många rymdprojekt pågår under lång tid, inte sällan uppemot ett par decennier, och de är således beroende av att ha långsiktig finansiering, vilket Rymdstyrelsen har möjlighet att tillhandahålla. För svenska rymdforskare innefattar projekt ofta att ett mätinstrument utvecklas och byggs för att bäras av satelliter som sänds upp i rymdprojekt ledda av European Space Agency (ESA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) eller någon annan rymdmyndighet.¹ När väl satellit och instrument har nått sitt mål sänder instrumentet tillbaka mätdata som utgör underlag för forskningen. Rymdstyrelsen delfinansierar såväl utveckling och drift av instrument som forskning baserad på mätdata från instrumenten.

1.2 Uppdraget

Syftet med föreliggande effektutvärdering av det svenska deltagandet i ett urval av stora instrumentprojekt i plasmafysik var dels att skapa underlag för Rymdstyrelsens verksamhetsplanering och dels att belysa värdet av dessa och liknande projekt som myndigheten delfinansierar. Effektutvärderingen skulle besvara följande frågor:

1. Vilka resultat och effekter har medverkan i stora forskningsprojekt med hårdvara (instrumentprojekt) haft på mottagande forskargrupper på såväl kort som lång sikt, i termer av bland annat:
 - a. Kompetensutveckling?
 - b. Forskningsresultat, inklusive deras inomvetenskapliga kvalitet?
 - c. Innovation, inklusive patent(ansökningar), kunskapsöverföring till existerande företag och andra organisationer, avknoppningsföretag etc.?
 - d. Ytterligare finansiering?
 - e. Stabilitet för forskargruppen?
 - f. Internationell konkurrenskraft?
 - g. Humankapitalrörlighet till och från forskargruppen?
 - h. Karriärmöjligheter och -utveckling för individuella forskare?
 - i. Doktorandgenomströmning?
2. Vilka är gynnsamma förutsättningar för att önskvärda effekter av projektdeltagandet ska uppnås, i termer av:
 - a. Personal?
 - b. Kompetens?
 - c. Organisation?
 - d. Nätverk?
 - e. Kompletterande finansiering?
3. Vilka risker medför projektdeltagandet för mottagande forskargrupp?
4. Vilka är argumenten för att Rymdstyrelsen ska stödja svenskt deltagande i stora instrumentprojekt?

¹ Denna rapport innehåller ett stort antal förkortningar som samlats i Bilaga A.

5. Hur bör Rymdstyrelsen agera för att förbättra svenska aktörers möjligheter att mer effektivt dra nytta av sina deltaganden i stora forskningsprojekt:
 - a. Som finansiär? På vilket sätt och i vilka utvecklingsfaser?
 - b. Som stödjande projektuppföljare?
 - c. Som diplomat?

1.3 Utvärderingsobjekt

Rymdstyrelsen valde att avgränsa utvärderingen till ett urval av svenska deltaganden i fem internationella rymdprojekt inom plasmafysik, vilka tillsammans innefattar åtta instrumentprojekt med svensk medverkan, se Tabell 1. Instrumentprojekten valdes ut för att åstadkomma en spridning vad avser programansvariga organisationer, deltagande svenska organisationer, nivå på det svenska deltagandet (både avseende budget och ansvarsbörda) samt projektfas. Enligt Rymdstyrelsen ska detta urval inte utgöra någon positiv selektion. Som framgår av tabellen omfattar utvärderingen tre svenska organisationer:

- Programmet Rymdplasmafysik vid Institutet för Rymdfysik (IRF) i Uppsala (IRF-U)
- Programmet Solsystemets fysik och rymdteknik vid IRF i Kiruna (IRF-K)
- Institutionen för rymd och plasmafysik vid Kungliga Tekniska högskolan (KTH)

Tabell 1 Instrumentprojekt som omfattas av utvärderingen.

| Rymdprojekt | Programansvarig | Projektfas | Uppsändning | Instrument med svenska bidrag | Rymdstyrelsefinansiering |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------|--|--------------------------|
| Cluster | ESA | I drift sedan 2000 | 2000 | Ett från IRF-U ² , ett från IRF-K | Sedan 1987 |
| Mars Express | ESA | I drift sedan 2004 | 2003 | Ett från IRF-K | Sedan 1999 |
| Venus Express | ESA | I drift 2006–2014 | 2005 | Ett från IRF-K | Sedan 2002 |
| Magnetospheric Multiscale (MMS) | NASA | I drift sedan hösten 2015 | 2015 | Ett från KTH ³ | Sedan 2004 |
| BepiColombo | ESA-JAXA | Instrumenten levererade | 2017 | Ett från KTH ⁴ , två från IRF-K | Sedan 2003 |

Av de åtta instrumenten är således tre i drift (på Cluster och Mars Express), ett har just tagits i drift (på MMS) och tre är ännu inte uppsända (på BepiColombo). Ett rymdprojekt avslutades under 2014, och därmed upphörde också dataleveranserna från de instrument som satelliten bar (Venus Express förmodas ha brunnit upp i Venus atmosfär i början av 2015). Rymdstyrelsens äldsta åtagande i detta urval (Cluster) har snart pågått i tre decennier och det nyaste (MMS) i ett drygt decennium.

1.4 Genomförande

Faugert & Co Utvärdering AB har under perioden december 2014–september 2015 genomfört det arbete som redovisas i denna rapport. Arbetet har genomförts av Tomas

² Egentligen fyra identiska instrument på fyra farkoster. Även KTH deltar.

³ Även IRF-U deltar.

⁴ KTH-instrumentet är ett samarbete med IRF-U.

Åström, Anders Håkansson och Karolina Henningsson, där den förstnämnda agerat projektledare. Annika Olsson har varit intern kvalitetssäkrare.

Datainsamlingen har bestått av:

- Dokumentstudier:
 - Genomgång av projektrelaterad dokumentation: ansökningar, kontrakt, projektbeskrivningar m.m.
 - Sammanställning av finansiering för instrumentprojekten
- Sammanställning av information från självvärderingar som forskargrupperna har besvarat
- Tre platsbesök:
 - IRF-K, 2015-05-05–06
 - KTH, 2015-05-26
 - IRF-U, 2015-05-27
- Intervjuer med 24 personer, se Bilaga B
- Ett tolkningsseminarium på Rymdstyrelsen 2015-08-24 vid vilket Faugert & Co Utvärdering redovisade sina observationer och preliminära slutsatser för diskussion och återkoppling, se Bilaga B för deltagare

Parallellt med detta arbete har Rymdstyrelsen låtit genomföra en *peer review* av stödmottagarnas vetenskapliga produktion. En panel bestående av tre utländska experter har granskat den vetenskapliga produktionen från de tre forskningsgrupperna och de åtta instrumentprojekten. Panelen bestod av:

- Professor Viviane Pierrard, Belgian Institute of Space Aeronomy
- Professor Christopher T. Russell, University of California, Los Angeles
- Professor Andrew W. Yau, University of Calgary

Rymdstyrelsens syntesrapport av expertgranskningen återfinns i Bilaga C. I slutet av bilagan återges de frågor som experterna skulle besvara för varje instrument (och för varje deltagande svensk organisation i fall där fler än en deltagit). Dessa frågor besvarades dels i fritext, dels i form av ett sifferbetyg på en skala från 1: inte alls (*not at all*) till 5: i hög grad (*very much*). Sifferbetygen återges inte i Rymdstyrelsens syntes, men i föreliggande rapport används ett urval av dem, samtidigt som det hänvisas till syntesrapporten.

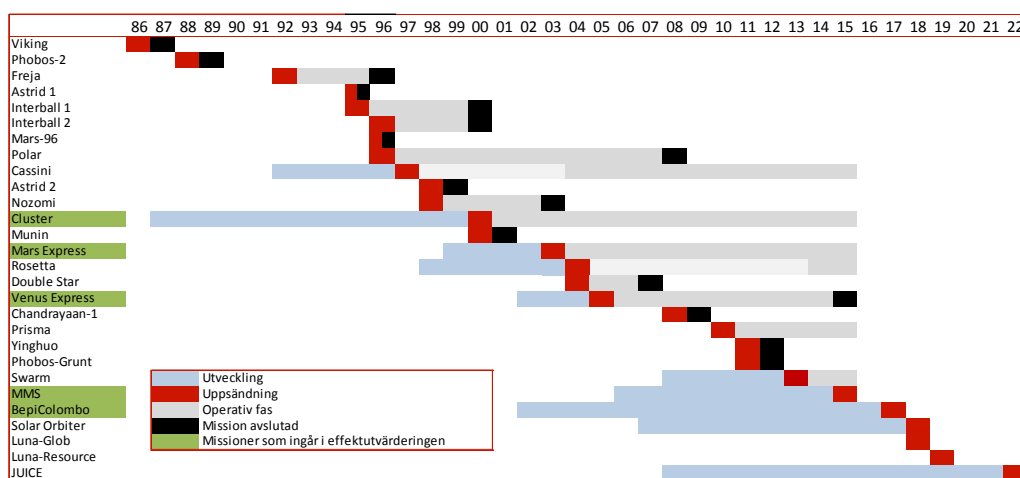
1.5 Rapportens disposition

Efter detta inledningskapitel följer i **kapitel 2** en översiktlig beskrivning av de åtta instrumentprojekten och Rymdstyrelsens finansiering av dem. I **kapitel 3**, som utgör huvuddelen av rapporten, redogör vi under en rad underrubriker för resultat och effekter på forskargrupperna, medan vi i **kapitel 4** diskuterar samhällsekonomiska effekter i en vidare bemärkelse. **Kapitel 5** behandlar Rymdstyrelsens roll och funktion, samt tänkbara argument för att delfinansiera stora instrumentprojekt. I **kapitel 6** sammanfattar vi effektutvärderingens viktigaste konstateranden och resonerar kring deras innebörd.

Rapportens många förkortningar finns samlade i **bilaga A**, och intervjupersonerna och deltagarna i tolkningsseminariet i **bilaga B**. **Bilaga C** innehåller Rymdstyrelsens syntesrapport av den expertgranskning som myndigheten lät genomföra parallellt med utvärderingen.

2. De åtta instrumentprojekten

De åtta instrument som är föremål för denna effektutvärdering bärs (respektive bärs) av satelliter på sammanlagt fem olika rymdprojekt. Dessa rymdprojekt hade både föregångare och har haft efterföljare som är viktiga att känna till för att förstå evolutionen av den svenska instrumentutvecklingen vid de tre forskningsmiljöerna. Figur 1 ger en kronologisk översikt över ett urval av rymdprojekt med svenska instrumentbidrag. Kronologin inleds 1986, året för uppsändning av satelliten Viking som är den första av gruppen satelliter som i efterhand har kommit att benämnas "det svenska småsatellitprogrammet".⁵ De rymdprojekt som har inkluderats i figuren är de som vid platsbesök och i intervjuer av forskarna själva nämndes som viktiga föregångare respektive efterföljare till de åtta utvärderade instrumentprojekten (de aktuella rymdprojekten är grönmärkerade). Detta är således inte en komplett kronologi över rymdprojekt som svenska organisationer har deltagit i.



Figur 1 Urval av rymdprojekt med svenska bidrag (1986–2022). Källor: Underlag från IRF och diverse hemsidor.

I följande avsnitt ger vi en översiktlig beskrivning av de åtta instrumentprojekt som omfattas av effektutvärderingen. Dessa instrument utgör, som tidigare nämnts, endast en delmängd av Rymdstyrelsens totala åtaganden i instrumentprojekt i plasmafysik. Projekten befinner sig i olika faser; instrumenten på Cluster, Mars Express och Venus Express har varit operativa i mer än tio år. MMS är nyligen uppsänd och den operativa fasen inleds under hösten 2015. Övriga instrument är utvecklade och levererande men har ännu inte sänts upp.

2.1 Cluster

Cluster består av fyra identiska satelliter som flyger i formation (i ett kluster) i omloppsbana över jordens poler. Avståndet mellan satelliterna varierar mellan 100 och 20 000 km. Med data från Cluster kan forskare studera hur jordens magnetiska fält samverkar med solvinden.

⁵ Under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet föreslog IRF att en svensk forskningssatellit skulle utvecklas av såväl forsknings- som industriutvecklingsmässiga skäl. Viking, uppsänd 1986, var den första svenskutvecklade satelliten och markerade starten på den moderna svenska rymdindustrin. Därefter följde utveckling av flera svenska forskningssatelliter under slutet av 1980-talet fram till början av 2000-talet, med stöd av bland annat Rymdstyrelsen. Dessa projekt har i efterhand beskrivits som *det svenska småsatellitprogrammet*, trots att det aldrig var fråga om en uttalad programsatsning. När vi i rapporten hädanefter refererar till småsatellitprogrammet avses följande satelliter i kronologisk ordning: Viking, Freja, Astrid-1 och Astrid-2. Även satelliten Odin brukar hänföras till programmet, men eftersom den är av mindre betydelse för forskning i plasmafysik så har den utelämnats i Figur 1.

Clusterprojektet föreslogs till ESA första gången i november 1982. Rymdstyrelsens första kontrakt med IRF avseende utveckling av instrument till Cluster är daterat 1987.⁶ 1996 var Cluster redo för uppsändning på den nya raketen Ariane 5s jungfruresa. På grund av ett mjukvarufel började dock raketen efter 37 sekunder att lämna den avsedda kursen, varefter den började brytas sönder av de stora aerodynamiska lasterna och till sist (avsiktligt) förstördes. ESA beslutade 1997 att göra ett nytt försök att få upp Cluster i omloppsbanan, trots att detta medförde stora merkostnader. År 2000, fyra år efter det första uppsändningsförsöket, sändes en ny uppsättning Clustersatelliter framgångsrikt upp i två omgångar med ryska Soyuz-U/Fregat-raketer. Den ursprungliga intentionen var att rymdprojektet skulle pågå i två år, men 15 år efter uppsändning är flera instrument fortfarande aktiva och levererar fortlöpande data, däribland de svenska instrumenten. Rymdprojektet planeras nu pågå till åtminstone år 2016, då ett nytt beslut om dess eventuella fortsättning kommer att fattas.

På Cluster finns tre instrument där svenska forskargrupper har bidragit i utvecklingen:

- Cluster Ion Spectrometry experiment (CIS)
- Electric Field and Wave experiment (EFW)
- Research with Adaptive Particle Imaging Detectors (RAPID), *ingår ej i effektutvärderingen*⁷

Utveckling och drift av CIS-instrumentet har letts av franska Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP). IRF-K har agerat underleverantör, och en av dess forskare har som Co-Investigator (Co-I) agerat lokal projektledare. Eftersom IRF-K har varit underleverantör har Rymdstyrelsens åtagande endast sträckt sig över instrumentets utvecklingsfas (och inte driftsfasen). Forskare vid IRF-K har senare använt sig av data från CIS-instrumentet i sin forskning.

Utveckling och drift av EFW-instrumentet har letts av IRF-U, och en av dess forskare är Principal Investigator (PI), med KTH som underleverantör. Det innebär att IRF-U har haft det yttersta ansvaret för att instrumentet uppfyller de kravspecifikationer och de prestanda som på förhand har avtalats. PI ansvarar sedan för driften av instrumentet under den produktiva fasen.

Cluster Science Archive (CSA) är en databas för forskningsdata från Clusterprojektet som innehåller validerade data i långa tidsserier. Databasen öppnades för allmänheten 2013. CSA är ett initiativ från ESA och varje huvudansvarig forskargrupp bidrar med data från sina respektive instrument. IRF-U ansvarar för att leverera data för EFW-instrumentet. En tidigare liknande databas, Cluster Active Archive (CAA) byggdes upp med början 2004.

Clusterprojektet databassystem för forskning består av åtta regionala databaser som lagrar och tillgängliggör data från instrumenten på Cluster för omvärlden. Scandinavian Data Centre (SDC) är en av dessa regionala databaser, och den administreras av forskargruppen vid KTH.

Enligt vår sammanställning av de kontrakt som rör utveckling och drift av instrumenten CIS och EFW uppgår Rymdstyrelsens totala investering under åren 1987–2014 till 64 miljoner kronor. Detta belopp är dock troligen en överskattning, eftersom Rymdstyrelsen i många av sina kontrakt inte har angivit hur mycket av stödet som avsett utveckling och drift från hur mycket som avsett forskning. Dessvärre är det inte möjligt att i efterhand göra en sådan uppdelning, och vi har därför i våra sammanställningar valt att klassificera dessa kontrakts totalbelopp som stöd till utveckling och (i förekommande fall) drift av instrumenten, även om delar av stödet för vissa år med stor sannolikhet avser okända andelar forskning. (För de kontrakt där stödet till forskning

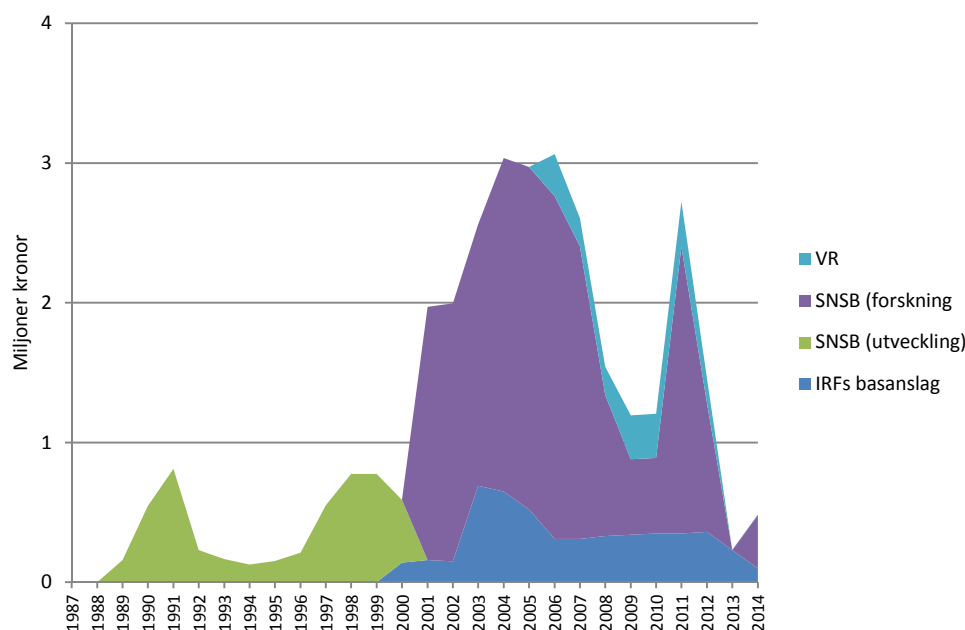
⁶ Kontraktet tecknades av Statens delegation för rymdverksamhet (DFR), som bildades 1972 och 1992 bytte namn till Rymdstyrelsen.

⁷ RAPID valdes bort eftersom IRFs roll i projektet till stor del bedömdes vara som underleverantör av ingenjörsinsatser och mindre av forskningsmedverkan.

har specificerats har vi naturligtvis klassificerat det som forskning.) Vi har också anledning att misstänka att det kan finnas fler kontrakt om forskningsfinansiering än vad Rymdstyrelsen har lyckats spåra upp, varför uppgifterna om forskningsfinansiering torde utgöra underskattningar.

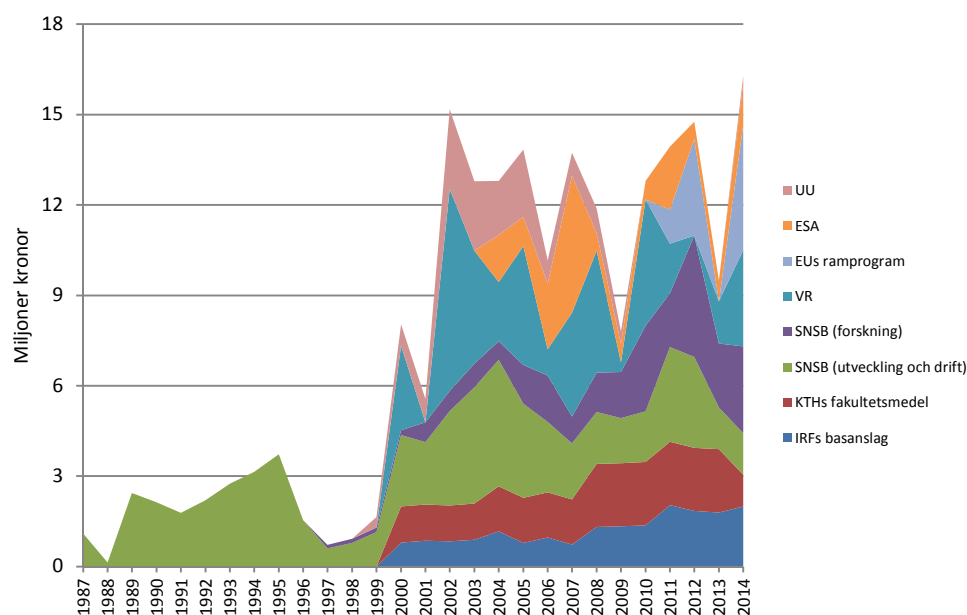
Figur 2 och Figur 3 visar finansieringen av CIS- respektive EFW-instrumenten över tid. Uppgifterna om den angivna finansieringen i form av del av IRFs basanslag respektive KTHs fakultetsmedel och tillkommande stöd från externa forskningsfinansiärer kommer från forskargruppernas självvärderingar, och utgör när det gäller andel av basanslag och fakultetsmedel gruppernas egna schablonmässiga uppskattningar (som inte nödvändigtvis baserats på samma antaganden och principer för IRF respektive KTH). Just för Cluster har vi före år 2000 endast uppgifter om Rymdstyrelsens finansiering, eftersom det skulle ha inneburit en omotiverat stor arbetsinsats för IRF och KTH att återskapa annan finansiering längre tillbaka i tiden. Givetvis fanns det dock finansiering från andra källor än Rymdstyrelsen även före år 2000.

Figur 2 visar att Rymdstyrelsens finansiering av utveckling av CIS-instrumentet upphörde när det levererats, men Rymdstyrelsen har däremot finansierat forskning under dess driftsfas. Den dramatiska nedgången i forskningsfinansiering 2008 kan i stor utsträckning förklaras av valutaeffekter i spåren av finanskrisen då Sveriges finansiering av ESA plötsligt blev mycket dyrare (eftersom den är överenskommen i euro) och Rymdstyrelsen tvingades därför dra ned på andra stöd där den kunde. De dramatiska variationerna i finansiering mellan år jämnas dock i praktiken ut genom att forskningsprojekt är fleråriga och stöd således inte nödvändigtvis förbrukas det kalenderår det formellt avser.



Figur 2 Finansiering av utveckling och forskning för instrumentet CIS 1987–2014. Uppgifter om annan finansiering än den från Rymdstyrelsen saknas före år 2000. I denna och i senare figurer tillkommande förkortningar förklaras i Bilaga A. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppernas självvärderingar.

För EFW-instrumentet skiljer sig mönstret för Rymdstyrelsens finansiering av utveckling och drift från övriga instrumentprojekt genom att finansieringen ligger kvar på en tämligen hög nivå även efter att instrumenten levererats, se Figur 3. En delförklaring till detta är de uppdrag som grupperna vid KTH och IRF-U har att administrera databaserna SDC och CSA, men den främsta orsaken torde vara att en del av Rymdstyrelsens forskningsfinansiering sannolikt är medräknad.



Figur 3 Finansiering av utveckling och drift samt forskning för instrumentet EFW 1987–2014. Uppgifter om annan finansiering än den från Rymdstyrelsen saknas före år 2000. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppernas självvärderingar.

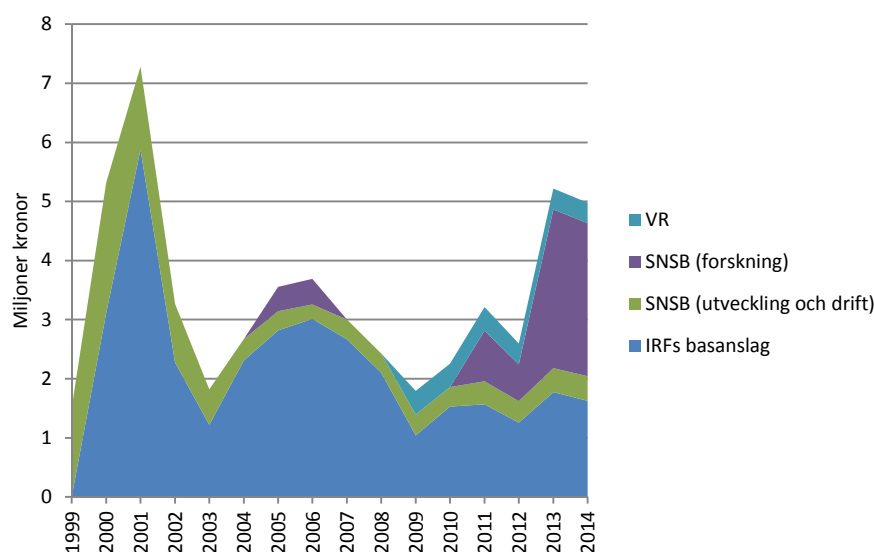
2.2 Mars Express

Mars Express är den första europeiskt ledda satelliten som har sänts till en annan planet. Rymdprojektet fick sitt namn på grund av att satelliten byggdes så snabbt i förhållande till sin föregångare Mars 96, vars uppsändning misslyckades. Mars Express vetenskapliga mål är att undersöka planetens atmosfär, geologi och ytstruktur. Den har under sina år i drift gett forskare värdefull information för att bättre förstå förekomsten av vatten och förutsättningarna för liv på Mars. Satelliten sändes upp i juni 2003 och nådde sitt mål i december samma år. Rymdsonden hade med sig marslandaren Beagle 2 som dock gick förlorad någon gång efter inträdet i Mars atmosfär då radiokontakten förlorades.

Ombord på Mars Express, som färdas i en elliptisk bana runt planeten, finns ASPERA-3-instrumentet som utvecklats av IRF-K.⁸ Instrumentet tillhör en familj av ASPERA-instrument som IRF har utvecklat sedan 1970-talet. Det första ASPERA-instrumentet levererades till det sovjetiska satellitprogrammet Phobos-1/2 (satelliterna sändes upp 1988), det andra ombord på Mars 96. Instrumentet i sig består av fyra olika sensorer som mäter flödena av elektroner, joner, samt energirika neutrala atomer.

Utvecklingen och driften av ASPERA-3 har letts av IRF-K, där en forskare har rollen som PI. Rymdstyrelsens första kontrakt med IRF-K avseende utveckling av instrumentet är daterat 1999. Enligt vår sammanställning av samtliga kontrakt uppgår Rymdstyrelsens totala investering under åren 1999–2014 till 10 miljoner kronor, se Figur 4. Liksom för Cluster har det visat sig vara svårt att återskapa finansieringshistoriken, dels för att det som vi nu har kategoriserat som finansiering av utveckling och drift torde innehålla en okänd andel forskningsfinansiering, dels för att det kan finnas ytterligare kontrakt för forskningsfinansiering. Myndighetens finansiering av forskning kopplad till Mars Express är således förmodligen betydligt högre än vad som framgår av figuren, framförallt under åren efter att satelliten sändes upp.

⁸ ASPERA är en akronym för Analyser of Space Plasma and Energetic Atoms.



Figur 4 Finansiering av utveckling och drift samt forskning för instrumentet ASPERA-3 1999–2014. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppernas självvärderingar.

2.3 Venus Express

Venus Express är den första europeiskt ledda rymdsonden med destination Venus. Satelliten sändes upp i november 2005 och nådde sitt mål i april 2006. Det vetenskapliga målet med Venus Express var att undersöka interaktionen mellan planetens atmosfär, dess yta och den utifrån kommande solvinden. I november 2014, efter att ha varit i drift i mer än åtta år, fick satelliten sannolikt slut på bränsle för styrning och avslutade därmed sitt uppdrag, förmodligen genom att brinna upp i Venus atmosfär i början av 2015. Ombord på Venus Express fanns instrumentet ASPERA-4, utvecklat under ledning av IFR-K, och återigen med en Kirunaforskare i rollen som PI. Instrumentet var till sin funktion en kopia av sin föregångare ASPERA-3. Rymdstyrelsens första kontrakt med IFR-K avseende utveckling av instrumentet är daterat 2002. Enligt vår sammanställning av samtliga kontrakt uppgår Rymdstyrelsens totala investering under åren 2002–2014 till 8 miljoner kronor, se Figur 5. Vi har inte heller i detta fall lyckats skapa en fullständigt korrekt bild av forskningsfinansieringen, och samma reservationer som ovan gjorts för Cluster och Mars Express gäller även här; forskningsfinansieringen torde vara högre än vad figuren visar. Dessutom är det möjligt att del av forskningsfinansieringen till Mars Express även har kommit Venus Express tillgodo. Ingen annan extern finansiering än Rymdstyrelsens har rapporterats för Venus Express.

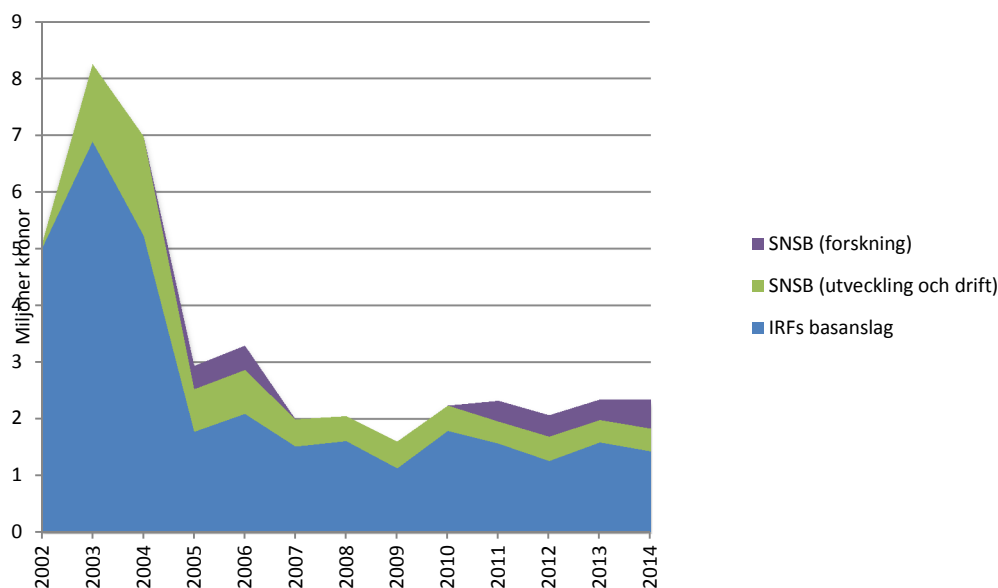
2.4 Magnetospheric Multiscale MMS

MMS-projektet leds av NASA och ska i jordens magnetosfär undersöka det fundamentala rymdplasmafenomenet magnetisk omkoppling som styr det som kallas för rymdväder. MMS sändes upp i mars 2015 från Cape Canaveral i USA och består av fyra identiska farkoster som efter uppsändning separerade för att sedan färdas i formation runt jorden.

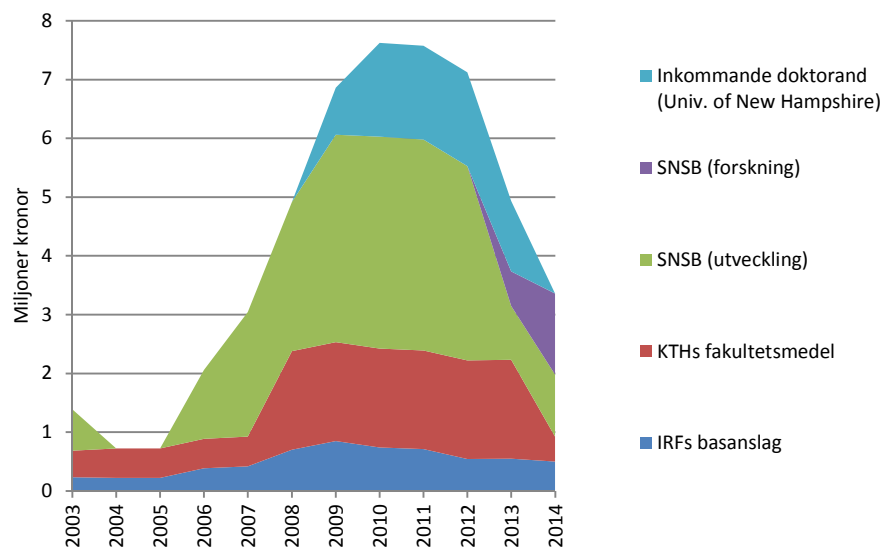
KTH och IRF-U har tillsammans med utländska partners utvecklat ett instrument för att mäta elektriska fält, vilket ingår i ett större instrumentpaket kallat FIELDS. FIELDS-konsortiet leds av University of New Hampshire. KTH har även bidragit med komponenter till FIELDS-instrumentets kraftförsörjning och bomutfällningssystem.

KTH har haft huvudansvaret för leverans av de svenska bidragen, och en KTH-forskare är Lead Co-I, medan IRF-U är underleverantör till KTH. Rymdstyrelsens första kontrakt med KTH och IRF-U avseende utveckling av instrumentet är daterade 2003. Enligt vår

sammanställning av samtliga kontrakt uppgår Rymdstyrelsens totala investering under åren 2003–2014 till 22 miljoner kronor, se Figur 6.



Figur 5 Finansiering av utveckling och drift samt forskning för instrumentet ASPERA-4 2002–2014. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppenas självvärderingar.



Figur 6 Finansiering av utveckling och forskning för de svenska bidragen till instrumentkonsortiet FIELDS 2003–2014. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppenas självvärderingar.

2.5 BepiColombo

BepiColombo är ett samarbetsprojekt mellan ESA och den japanska rymdmyndigheten JAXA. Det är ett historiskt rymdprojekt eftersom det är ett av få tillfällen då en satellit kommer att kunna studera Merkurius *in situ*. Rymdprojektet kommer att söka svar på flera grundläggande frågor om planetens beskaffenhet.

BepiColombo består av två farkoster som ska studera planeten på olika avstånd. Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) ska ligga i omloppsbanan i planetens

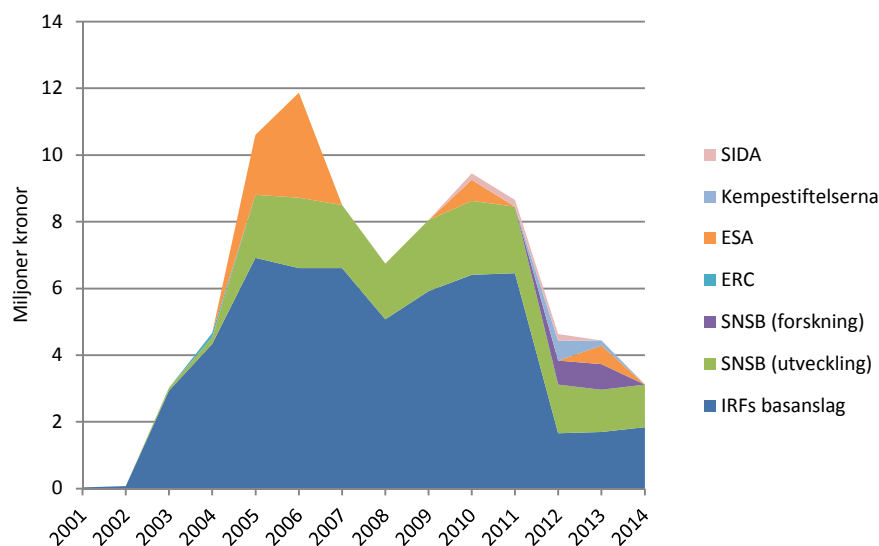
magnetosfär (som mest 11 000 km från planetens yta). Mercury Planetary Orbiter (MPO) ska ligga i en närmare omloppsbana (som mest 1 500 km från ytan) för att studera själva planeten. Uppsändningen är planerad till 2017, men resan till Merkurius beräknas ta sju år, så BepiColombo kommer inte att vara i drift förrän år 2024.

Ombord på de två sönerna finns totalt tre instrument med svenska bidrag:

- Miniature Ion Precipitation Analyzer (MIPA), en del av instrumentpaketet Search for Exosphere Refilling and Emitted Neutral Abundances (SERENA), ombord på MPO
- Energetic Neutrals Analyzer (ENA), en del av instrumentpaketet Mercury Plasma Particle Experiment (MPPE), ombord på MMO
- Mercury Electric Field In Situ TOol (MEFISTO), en del av instrumentet Plasma Wave Investigation (PWI), ombord på MMO

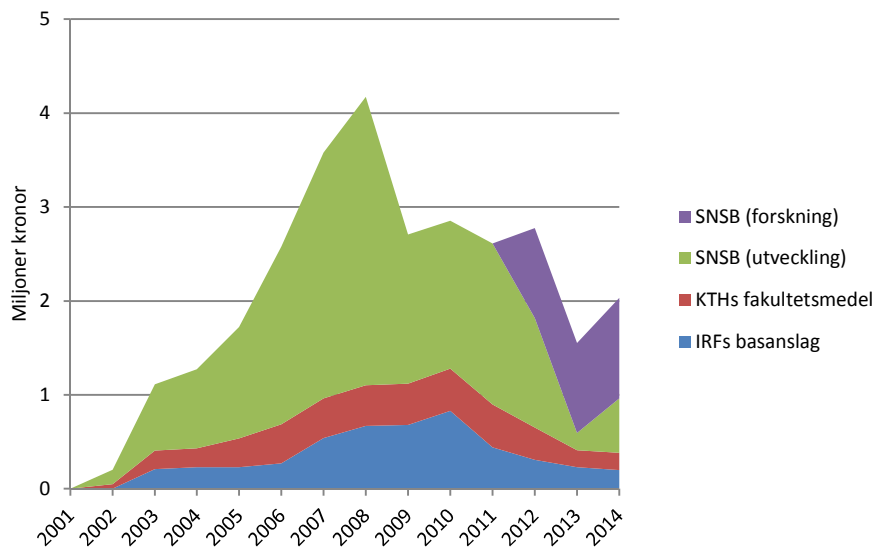
Genom instrumenten MIPA och ENA har IRF-K, som enda organisation i detta rymdprojekt, huvudansvaret för instrument ombord på båda farkosterna MMO och MPO; Kirunaforskare är i båda fallen Co-Principal Investigators (Co-PI). För MEFISTO-instrumentet har KTH huvudansvaret med IRF-U som underleverantör, men Co-PI-rollen (som avser vetenskap och drift) har sedermera tagits över av IRF-U. Rymdstyrelsens första kontrakt med IRF-K avseende utveckling av instrumenten MIPA och ENA är från 2003 och det första kontraktet med KTH är daterat 2002. Enligt vår sammanställning av samtliga kontrakt uppgår Rymdstyrelsens totala investering under åren 2002–2014 till 35 miljoner kronor.

Figur 7 visar den sammanlagda finansieringen av de två instrumenten utvecklade av IRF-K. De i sammanhanget möjligen något aparta stöden från ESA och Styrelsen för internationellt utvecklingssamarbete (SIDA) avsåg arbetet med instrumentet Sub-keV Atom Reflecting Analyser (SARA) ombord på den indiska satelliten Chandrayaan-1, vilket hänvisas till som förberedande arbete inför forskningen baserad på data från instrumenten på BepiColombo.



Figur 7 Finansiering av utveckling och forskning för instrumenten MIPA och ENA 2001–2014. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppernas självvärderingar.

Finansiering av instrumentet MEFISTO framgår av Figur 8. Ingen ytterligare finansiering än Rymdstyrelsen har rapporterats.



Figur 8 Finansiering av utveckling och forskning för instrumentet MEFISTO 2001–2014. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppernas självvärderingar.

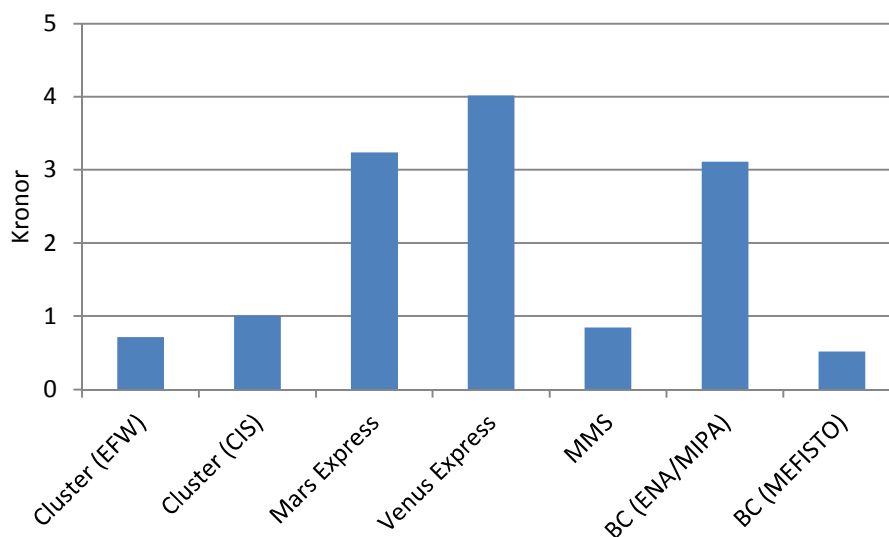
3. Resultat och effekter på forskargrupperna

Huvuduppgiften för denna effektutvärdering har varit att analysera och dokumentera den långsiktiga betydelsen på forskargrupperna av deltagande i stora instrumentprojekt delfinansierade av Rymdstyrelsen. Under uppdragets genomförande växte snabbt insikten fram att de observerade effekterna endast i undantagsfall kan härledas till ett specifikt instrumentprojekt. I de flesta fall visar det sig att effekterna snarast är ett resultat av en succession av instrumentprojekt och rymdprojekt, såväl de som ingår i denna utvärdering som andra som inte gör det (jmf Figur 1). Det är sällan möjligt, och enligt vår mening som regel inte fruktbart, att försöka attribuera effekterna till enskilda instrument. Följaktligen presenteras resultaten och effekterna i detta kapitel tematiskt, men där det ansetts vara befogat redovisas exempel där ett visst instrumentprojekt har genererat specifika effekter.

3.1 Finansiering

Rymdstyrelsens åtaganden i stora instrumentprojekt innebär i praktiken, genom åtaganden som Rymdstyrelsen iklätt sig gentemot huvudansvarig rymdmyndighet (ESA, NASA, JAXA etc.), säkrad delfinansiering för forskargruppen under instrumentets hela utvecklingsfas. Bär forskargruppen dessutom huvudansvaret för instrumentet under dess driftsfas så har Rymdstyrelsen på samma sätt i praktiken åtagit sig att delfinansiera även denna för så lång tid som instrumentet är i drift. Cluster utgör ett exempel på att denna tidsutdräkt kan bli avsevärt längre än vad som ursprungligen förutsågs.

Som beskrevs i föregående kapitel har forskargrupperna ombetts att uppskatta den egna organisationens egenfinansiering av respektive instrumentprojekt, vilken till största del torde utgöras av kostnader för arbetade timmar. Figur 9 illustrerar hur många kronor som IRF respektive KTH har satsat av sina bas-/fakultetsanslag för varje krona i finansiering av utveckling och drift från Rymdstyrelsen. Denna jämförelse haltar förvisso en hel del – det är en jämförelse mellan å ena sidan finansiering av utveckling och drift och å andra sidan (egen)finansiering av såväl utveckling och drift som forskning – men den ska ses i ljuset av Rymdstyrelsens grundläggande fråga om vilken avkastning som myndighetens investeringar i utveckling och drift *utlöser*.



Figur 9 Antal kronor som IRF och KTH själva satsat i utveckling, drift och forskning för varje krona som Rymdstyrelsen investerat i utveckling och drift. Tidsperioderna är desamma som i Figur 2–Figur 8. Källor: Rymdstyrelsens kontrakt och forskargruppernas självvärderingar.

Vi passar här på att påminna om att de gjorda schablonmässiga uppskattningarna av egenfinansieringen inte nödvändigtvis har baserats på samma antaganden och principer för IRF respektive KTH, samt att det som vi har nödgats klassificera som finansiering av utveckling och drift från Rymdstyrelsen också innehåller okända andelar forskningsfinansiering. Felkällorna är därför flera, och för Cluster-instrumenten saknar vi helt egenfinansieringen före år 2000, varför dessa kvoter helt klart utgör underskattningar. I vilket fall indikerar figuren att Rymdstyrelsens finansiering har resulterat i att betydande egna resurser har satsats av både IRF och KTH, och att dessa som regel är i nivå med och ofta större än myndighetens finansiering. Givet ovan nämnda felkällor avråder vi dock starkt från att göra några som helst jämförelser mellan instrumenten; figuren avser endast illustrera just att betydande egna resurser har satsats av de stödmottagande organisationerna.

Flertalet intervjupersoner berättar att de forskargrupper som har haft en ledande roll i utvecklingen av ett instrument senare har mycket goda förutsättningar att få finansiering till forskning baserad på de data som instrumentet levererar. Huvudsakligen uppges detta handla om att de har ett försprång när det gäller att tolka mätdata och i och med det lättare kan planera vilket slags forskning som kan bedrivas med data från instrumentet, och därmed mer övertygande kan beskriva detta i en ansökan om forskningsstöd. De som ansvarar för driften har också exklusiv tillgång till mätdata under en begränsad tid. Tidigare kunde det röra sig om ett försprång på ett halvår, men utvecklingen går allt mer mot att korta tiden från att data samlats in till att den görs tillgänglig för alla och envar så snart data har kalibrerats. De som ansvarar för driften har dessutom möjlighet att påverka vad som ska mätas och när, och med vilken upplösning (medan andra forskare får anpassa sig till de data som tillgängliggörs.)

Rymdstyrelsen är gruppernas huvudsakliga finansiär även för forskning på data från instrumenten, men dessa medel söks i nationell konkurrens utan särskilda medel allokerade för plasmafysik. Forskargrupperna utnyttjar även andra forskningsfinansiärers möjligheter, men finner det – främst eftersom få andra finansiärer kan eller vill ikläda sig att finansiera så långa projekt som rymdforskning sågs kräva – ofta problematiskt att utnyttja dessa möjligheter fullt ut.

Vetenskapsrådet (VR) ses som en viktig kompletterande finansiär för grundforskning, men flera intervjupersoner när en misstanke om att rymdforskare har ett underläge gentemot forskare från andra naturvetenskapliga discipliner; forskarna upplever att de emellanåt förfördelas, eftersom de anses ha en ”egen” forskningsfinansiär (Rymdstyrelsen). VR-stöd uppges också ha en begränsad användbarhet genom att de inte erbjuder den önskade långsiktigheten. Andra alternativa svenska finansiärer är Stiftelsen för strategisk forskning (SSF) och ett fåtal privata forskningsstiftelser, men dessa är i praktiken sällan aktuella (och endast ett exempel på det senare, Kempestiftelserna, förekommer i figurerna i kapitel 2).

EUs ramprogram för forskning och utveckling, numera Horisont 2020, är enligt de flesta intervjupersoner ett mindre attraktivt alternativ. Horisont 2020 ses som alltför snävt och styrt, eftersom finansieringen är relativt kortsiktig och ställer högra krav på resultatens tillämpbarhet. Likaså berättar flera intervjupersoner att de flesta program i ESAs regi är alltför begränsande för att passa deras verksamhet. European Research Council (ERC) (som är del av Horisont 2020), som beviljar finansiering i upp till fem år, mottar ansökningar från alla discipliner. Några kollegor till de intervjuade forskarna uppges ha sökt finansiering från ERC, men ingen lär ännu ska nått ända fram i den knivskarpa konkurrensen.

Snöbollseffekten av att ha deltagit i utvecklingen av ett framgångsrikt instrument beskrivs som uttalad. I ett första led är möjligheterna att erhålla forskningsfinansiering – främst från Rymdstyrelsen – då mycket goda. I ett andra led resulterar forskningen i akademisk produktion (publikationer och forskarexamina). I ett tredje led ökar möjligheterna att komma med i framtida vinnande instrumentprojekt, såväl genom det framgångsrika instrumentprojektet som sådant som genom den akademiska produktionen – vilket i sin tur ökar möjligheterna att få Rymdstyrelsefinansiering både till instrumentutveckling och -drift, och senare till forskning. Den goda cirkeln är sluten.

3.2 Konkurrenskraft

Stora instrumentprojekt förutsätter omfattande samarbete mellan flera, ibland många, organisationer i olika länder. Dessa partnerskap är som regel långsiktiga och kontakter i viss mån personliga, men de ärvs ofta när en ny generation forskare tar över ledningen i en partnerorganisation. Konkurrensen mellan de internationella konsortier som tävlar om att vinna uppdraget att utveckla och bygga ett instrument till ett rymdprojekt är hård. En förutsättning för att få ingå i sådana konsortier är att ha ett väl utvecklat nätverk och att ha dokumenterad erfarenhet av deltagande i tidigare framgångsrika instrumentprojekt (*flight heritage*), så att forskargruppen (i praktiken ett fåtal seniora nyckelpersoner) uppfattas som internationellt konkurrenskraftig och därmed är en eftersökt partner.

De flesta intervjupersoner förklarar att det är en serie av tidigare instrumentprojekt som har fört de tre svenska forskargrupperna till internationellt framstående positioner. Ett viktigt fundament, menar flera, var det svenska småsatellitprogrammet som resulterade i flera svenskutvecklade satelliter under 1980- och 1990-talen. För grupperna vid IRF-U och KTH har medverkan i Cluster-instrumenten kanske varit än mer avgörande. Cluster-medverkan gav dem erfarenhet av att arbeta med instrumentutveckling på ett stort rymdprojekt och beskrivs av flera intervjupersoner som en "dörröppnare". De vetenskapliga resultaten från Cluster har också blivit mycket uppmärksammade, och de svenska grupperna har stått för flera fundamentala upptäckter baserade på data från Cluster-instrumenten (och i kombination med data från andra instrument). Både erfarenheterna från instrumentutvecklingen och forskningsresultaten i sig uppges ha varit betydelsefulla för gruppernas möjligheter att få ledande roller i rymdprojekt som MMS, Swarm, BepiColombo och Solar Orbiter.⁹

För IRF-K föregicks medverkan i Mars Express av utvecklingen av ASPERA-instrumentet i två generationer. Forskargruppen hade före deltagandet i Mars Express också lett flera närbesläktade instrumentprojekt på andra rymdprojekt. Att ha lett utvecklingen av ASPERA-instrumenten på Mars och Venus Express har, enligt flera utsagor, i sin tur varit en viktig merit som har bidragit till att gruppen fått förtroendet att leda två instrumentprojekt på BepiColombo. Senare har gruppen fått en ledande position på det prestigefyllda rymdprojektet JUICE, enligt intervjupersoner utanför IRF till stor del tack vare IRFs meriter från Mars Express, Venus Express och BepiColombo.¹⁰ IRF säger sig ha som uttalad strategi att i den mån det är möjligt ta ledningen i instrumentkonsortier, vilket alltså förutsätter tidigare framgångsrika erfarenheter av att ha lett liknande instrumentprojekt.

Vid sidan av de rymdprojekt som genomförs av ESA, NASA, JAXA med flera, eftersöker vissa länders rymdorganisationer specifik kompetens genom direktförfrågningar. IRF-K har deltagit i flera rymdprojekt där forskarna direkt har tillfrågats på grund av sin kompetens när det gäller instrument för att undersöka joner och energirika neutrala atomer. Det gäller bland annat rymdprojektet Chandrayaan-1, lett av Indian Space Research Organisation (ISRO), och flera rymdprojekt ledda av ryska rymdmyndigheten Roscosmos.

Gruppernas konkurrenskraft kan också beläggas med att de tillsammans nu medverkar i rymdprojekt ledda av flera av de största rymdmyndigheterna i världen, inklusive ESA, NASA, JAXA och Roscosmos. De svenska gruppernas konkurrenskraft består i en gedigen erfarenhet av att konstruera och bygga instrument, och i en hög produktivitet i forskning baserad på data från instrumenten. Detta har fört dem till världsledande positioner, både som forskare och som instrumentkonstruktörer, vilket också bekräftas av intervjupersoner utanför de tre forskningsmiljöerna liksom av expertpanelen (vilket vi återkommer till i avsnitt 3.5). Enligt flera utsagor utmärker sig dessutom de svenska grupperna genom att vara obyråkratiska. Hela det svenska systemet uppfattas bygga på

⁹ Swarm är en mission ledd av ESA som undersöker jordens magnetfält. Solar Orbiter är en planerad ESA-mission för att undersöka solen.

¹⁰ JUICE är en akronym för JU piter ICy moons Explorer, en mission ledd av ESA till Jupiter och dess månar.

en effektiv organisation med snabba beslutsvägar hela vägen från enskild forskargrupp till Rymdstyrelsens ledning. De svenska grupperna har vidare ett renommé av pålitlighet, vilket är särskilt värdefullt i projekt där tidsperspektiven är långa och kraven på leveranskapacitet hög.

Forskargrupperna har alltså successivt byggt upp erfarenhet och renommé som har gjort dem konkurrenskraftiga och efterfrågade. Detta har i sin tur förbättrat förutsättningarna att få ta ledande positioner i framtida instrumentkonsortier, vilket i sin tur ökar möjligheterna att få delta i prestigefyllda rymdprojekt. Den goda cirkeln har således slutits även i detta avseende, helt i analogi med vad som beskrevs i sista stycket i föregående avsnitt om finansiering.

3.3 Personal och mobilitet

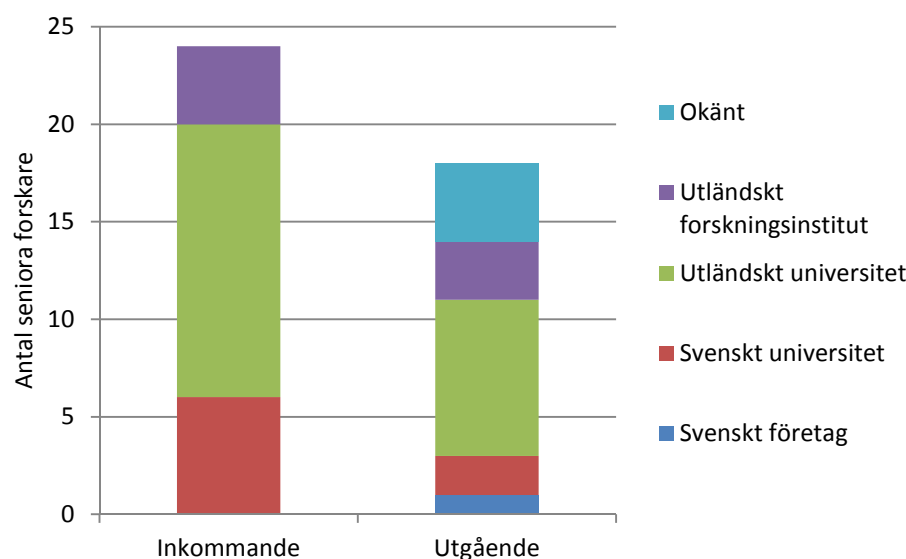
Forskargrupperna präglas av kontinuitet och låg personalomsättning bland seniora forskare, särskilt när det gäller de nyckelpersoner som leder stora instrumentprojekt. Möjligheten för en organisation att få ta en ledande position i ett instrumentprojekt är starkt beroende av enskilda individer och deras CVar, men dessa är också starkt beroende av sin organisations renommé. Det finns emellertid en återväxt och enligt uppgift planer för hur yngre forskare gradvis ska fasas in i stora instrumentprojekt och sedermera kunna ta rollen som PIs i framtida projekt.

I självvärderingsenkäterna ombads forskargrupperna att ange samtliga seniora (här definierat som disputerade) forskare som har varit knutna till de åtta instrumentprojekten. Resultatet ger vid handen att åtminstone 60 seniora forskare har varit aktiva i projekten från 1999 och till dags dato, varav endast två kvinnor. Av de 60 har 28 varit knutna till Cluster-instrumenten. Storleken på en forskargrupp som arbetar med ett instrument förefaller inte variera på något dramatiskt vis över dess livstid. Under planeringsstadiet och i utvecklingsfasen är endast enstaka forskare engagerade, men de arbetar i tät samverkan med ingenjörer som har en stor och kritisk roll i konstruktion, byggande, validering och kalibrering av instrumentet. I dessa skeden bedrivs som regel endast i begränsad omfattning någon forskning och då i förberedande syfte. När instrumentet sedan börjar leverera data kan forskningen börja ”på allvar” – det mesta av arbetet dessförinnan är ett slags transportsträcka, ett medel för att uppnå målet: data att forska på – och gruppen ökar sedan i storlek allteftersom den beviljas forskningsmedel.

Med tanke på de långa tidsperspektiven är det dock inte ovanligt att en forskare hinner gå i pension innan det instrument han (för det är oftast en han) har varit med om att utveckla börjar leverera data att forska på. För forskare finns det därmed ett inslag av ”institutionstjänstgöring” i instrumentutveckling; eftersom man åtminstone som ung forskare forska på data från instrument som andra forskare har utvecklat förväntas det att man så småningom själv bidrar på liknande sätt, inte sällan till nästa forskargenerations fromma. Analogin med att som skogsägare plantera träd för sina barnbarns skull ligger nära.

Mobilitet, i detta fall seniora forskare som permanent bytt arbetsgivare, sker i hög grad till och från gruppernas återkommande samarbetspartners. I ungefär hälften av fallen som uppgetts i självvärderingsenkäterna har forskare kommit från eller gått till en organisation som också har angetts som nära samarbetspartner. Figur 10 visar vilka slags organisationer som forskare har kommit från respektive gått till. Vi är benägna att tro att uppgifterna dessvärre inte är fullständiga, så de kan nog betraktas som konservativa skattningar. Figuren borde dock ändå ge en god bild av hur mobiliteten ser ut för seniora forskare till och från de tre grupperna. Föga förvånande är mobiliteten huvudsakligen internationell.

De flesta forskare uttrycker en genuin professionell tillfredsställelse över att utveckla instrument som bidrar till att utforska ”vår kosmiska närhet”. Deltagande i, och särskilt ledning av, stora instrumentprojekt beskrivs som ett krävande men samtidigt mycket stimulerande arbete. En intervjuperson säger att en stor del av tjusningen ligger just i arbetets komplexitet.



Figur 10 Mobilitet bland seniora forskare aktiva i de åtta instrumentprojekten under åren 1999–2015. Källa: Forskargruppernas självvärderingar.

En ledande position i ett instrumentprojekt innebär mer eller mindre per definition att forskaren involveras i en stor del av den forskning som baseras på data från instrumentet, åtminstone initialt. Detta innebär en succesiv uppbyggnad av dennes CV, såväl genom en snabbt växande publikationslista (med unikt datamaterial) som handledning av doktorander och ett vidgat renommé i det internationella forskarsamfundet. Den internationella karaktär som präglar stora instrumentprojekt och den efterföljande forskningen innebär också goda möjligheter för unga forskare att utvidga det egna kontaktnätet. Denna effekt avtar dock naturligen med tiden då kontaktnätet vidgas.

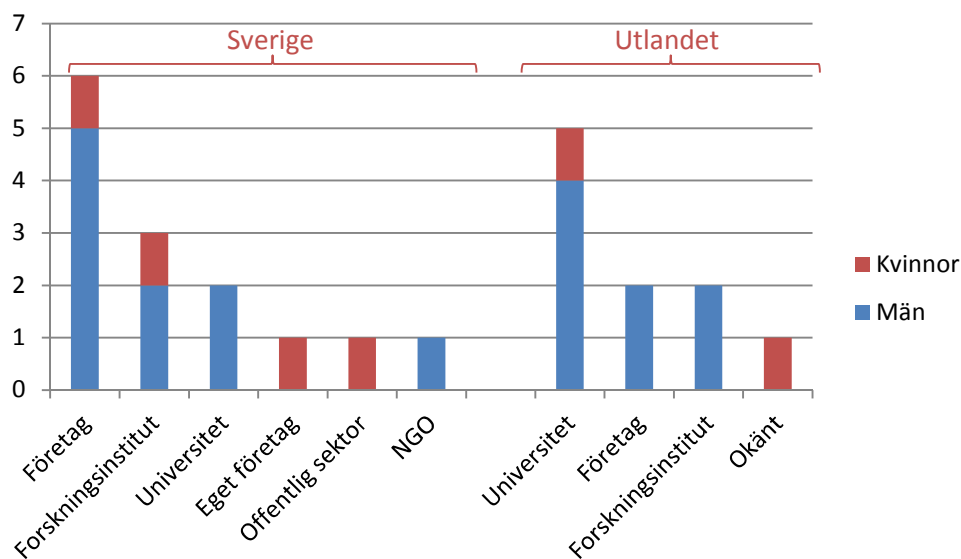
3.4 Forskarutbildning

Enligt flera intervjupersoner bidrar instrumentprojekten till en attraktiv miljö för doktorander. De ger doktoranderna möjlighet att arbeta med unika förstahandsdata, vilket innebär att deras forskning per definition ligger i den internationella forskningsfronten inom rymdplasmafysiken. Samma intervjupersoner tycker sig också se att doktorander är medvetna om olika forskargrupper status och har det i beaktande när de väljer arbetsgivare. Det goda renommé som grupperna har, tros därmed attrahera doktorander, såväl inom landet som internationellt; påfallande många doktorander som har arbetat med de aktuella instrumenten har rekryterats från utlandet. Forskningen baserad på data från instrumenten har, förutom att bidra till attraktiva forskningsmiljöer, enligt flera intervjupersoner också bidragit till en kontinuerlig utveckling av doktorandkurser.

Trots att endast fyra av de åtta instrumenten till dags dato har producerat data har totalt 24 doktorer, varav sex kvinnor, examinerats sedan 1999. Cluster har förstås bidragit till flest doktorer, 16 stycken. Sammanlagt är fem doktorer angivna för Mars och Venus Express, och dessa är svåra att särskilja från varandra eftersom flera av dem har arbetat med data från båda instrumenten. Slutligen har tre doktorer examinerats baserat på forskning knuten till BepiColombo-instrumenten – som fortfarande står kvar på marknaden! Här är det fråga om förberedande forskning, bland annat baserad på data från NASAs sond Messenger som nådde Merkurius 2011. Figur 11 visar examinerade doktorers senast kända arbetsgivare efter typ. Därtill har fyra licentiater (som inte sedan – eller ännu – disputerat) examinerats.

Det framgår inte av figuren, men vi kan konstatera att åtminstone två tredjedelar av de tidigare doktoranderna som idag är verksamma i Sverige inte arbetar med rymdrelaterad verksamhet (en av dem tillverkar i eget företag ost till Michelinrogar!).

Flera intervjupersoner påpekar att rymdforskning är en högst begränsad sektor och de potentiella arbetsgivarna och de utlysta tjänsterna är få, så de ser det som helt naturligt att många nydisputerade söker sig till andra sektorer.



Figur 11 Examinerade doktorers senast kända arbetsgivare. Källa: Forskargruppenas självvärderingar.

Drygt 40 procent av doktorerna verkar idag utanför Sverige. En anledning till det torde vara att forskargrupperna rekryterar en betydande andel av sina doktorander från utlandet, så att många av dem efter disputation återvänder till sina hemländer förefaller naturligt. En annan anledning kan vara att de under sin tid som doktorand knutit så många internationella kontakter att deras möjligheter att få jobb i något annat land ökat. Flera tidigare doktorander är idag kontaktpersoner för utländska organisationer i nu pågående instrumentprojekt, där länken mellan IRF, KTH och deras samarbetspartners delvis har etablerats, eller i vart fall befästs, genom relationen till den forna arbetsgivaren.

Den genomsnittliga tiden till avlagd doktorexamen för doktorerna aktiva i instrumentprojekten är 4,8 år. Inga betydande skillnader mellan lärosäten eller någon förändring över tid går att skönja. När vi har beräknat studietid har vi förvisso använt oss av ett trubbigt mått (examensår minus startår), varför den uträknade studietiden på individnivå kan variera upp till ett år. Detta bör dock ha jämnats ut för gruppen som helhet när vi beräknat medelvärdet. Enligt Universitetskanslersämbetet var bruttostudietiden för doktorander i Sverige 2013 i genomsnitt 11 terminer (cirka 5,5 år), och inom naturvetenskapliga ämnen var studietiden som regel något kortare.¹¹ Således förefaller doktoranderna i de aktuella instrumentprojekten ligga nära Sverige-genomsnittet.

3.5 Vetenskaplig kvalitet

Som ett underlag till denna effektutvärdering lät Rymdstyrelsen genomföra en vetenskaplig granskning (*peer review*) för vilken tre utländska experter anlätas. Rymdstyrelsen hade instruerat varje forskargrupp att för varje instrument sammanställa följande bedömningsunderlag till experterna:

- Kortfattade beskrivningar av instrumentprojektet och gruppens bidrag till det

¹¹ "Universitet och högskolor – Årsrapport 2014", Universitetskanslersämbetet, 2014.

- Komplet list referenslista över samtliga publikationer som genererats till följd av instrumentprojektet
- Ett urval av vetenskapliga publikationer som gruppen producerat till följd av instrumentprojektet
- Uppgifter om andra utåtriktade aktiviteter kopplade till forskningen som baserats på instrumentprojektet

Granskningen genomfördes under perioden februari–juni 2015. I det följande ges ett kortfattat referat av de huvudsakliga slutsatserna av den vetenskapliga granskningen. Rymdstyrelsens syntes av densamma återfinns i Bilaga C, som i avsnitt C.4 också återger de frågor som experterna hade att besvara för varje instrumentprojekt och för varje forskargrupp. Experterna hade i uppgift att besvara dessa frågor såväl i fritext som i form av ett sifferbetyg på en skala från 1: inte alls (*not at all*) till 5: i hög grad (*very much*). Dessa sifferbetyg återges inte i Rymdstyrelsens syntes, men vi kommer nedan att presentera ett urval av dem.

Det är experternas sammanfattande bedömning att alla tre grupper inom respektive område är erkända och väl etablerade i det internationella forskarsamfundet. Forskningen baserad på data från de åtta instrumenten har varit betydelsefull för att grupperna har kunnat uppnå dessa positioner. Grupperna vid IRF-K och IRF-U bedöms under tiden för Cluster, Mars Express och Venus Express ha utvecklats till världsledande forskningsmiljöer. Experterna lyfter fram flera exempel där grupperna har levererat betydelsefulla vetenskapliga bidrag. Bland dessa utpekades den tidiga forskningen baserad på data från EFW-instrumentet, utförd av forskare vid KTH och IRF-U, som särskilt nydanande. Forskningen baserad på data från ASPERA-instrumenten ombord Mars och Venus Express har enligt experterna genererat ett enastående antal artiklar av mycket hög kvalitet. Flera publikationer anses ha varit mycket inflytelserika och särskilt nyskapande.

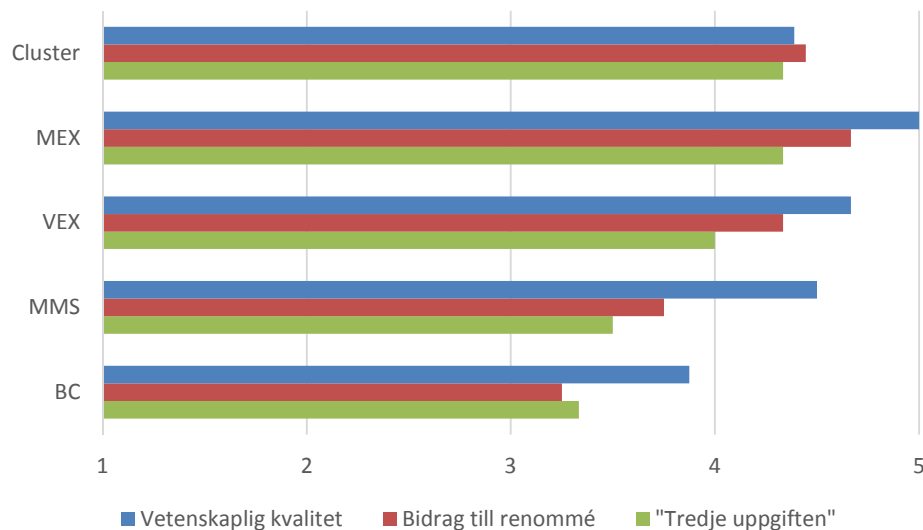
Vi väljer att i viss detalj studera experternas bedömning för de fyra frågor som återges i Tabell 2, där också en kortform av frågan på svenska återges; denna kortform inför vi endast av retoriska skäl för att göra de följande figurerna enklare att tolka och texten mer lättläst. (Den fjärde frågan återkommer vi till först i avsnitt 3.6.)

Tabell 2 Urval av frågorna i expertgranskningen. Fullständig formulering på engelska och kortform på svenska.

| Fullständig formulering | Kortform |
|--|-------------------------|
| <i>To what extent is the output from the group of high scientific quality (judged from the selected publications and the full list of publications)?</i> | Vetenskaplig kvalitet |
| <i>To what extent has the instrument project contributed to the current position of the research group in the international scientific community?</i> | Bidrag till renommé |
| <i>To what extent has the research group contributed to the public impact and awareness of the instrument project and the mission (based on the group's public-outreach activities)?</i> | ”Tredje uppgiften” |
| <i>To what extent is the scientific output of the instrument project (or the expected scientific output, for instruments not yet in operation) commensurate with the investment of the Swedish National Space Board?</i> | Vetenskaplig avkastning |

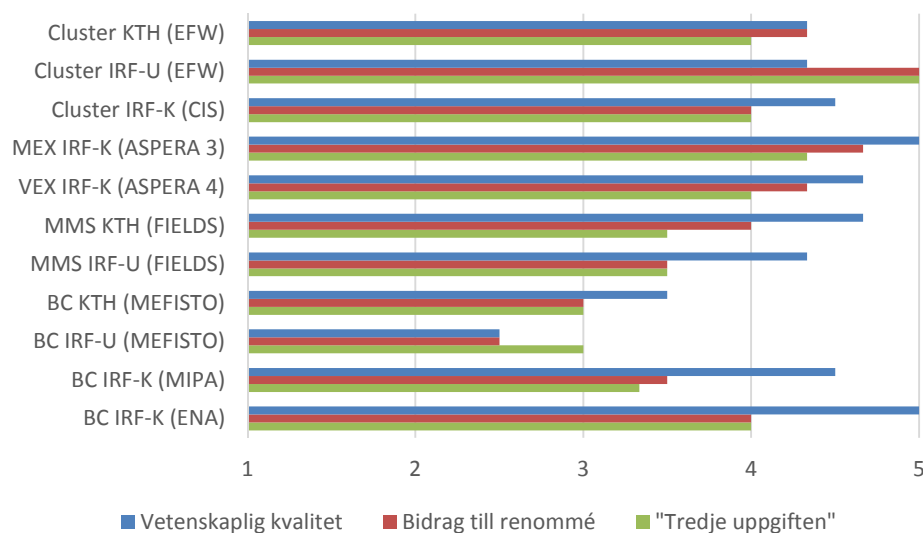
Figur 12 illustrerar experternas samlade bedömningar för de tre första frågorna i Tabell 2 sammantaget för alla instrument och forskargrupper på respektive rymdprojekt. För de tre rymdprojekt som är eller har varit i drift och därmed har levererat data som hunnit resultera i forskning (Cluster, Mars Express (MEX) och Venus Express (VEX)) är värderingarna mycket höga för alla tre frågor. Av experternas bedömningar framstår det som ovedersägligt att den vetenskapliga kvalitén på forskargruppernas publikationer är mycket hög och att instrumentprojekten har varit mycket betydelsefulla för utvecklingen av gruppernas internationella renommé. Vidare bedöms grupperna ha varit mycket framgångsrika i sin kunskapsspridning utanför forskarsamfundet. Att experterna är mer återhållsamma i sina bedömningar av instrument på de rymdprojekt som ännu inte har hunnit resultera i särskilt mycket

forskning (MMS och BepiColombo (BC)) är naturligt, men förväntningarna på forskningens kvalitet är höga, särskilt för MMS som just hade sänts upp och börjat sända data när experterna genomförde sitt arbete. De mer försiktiga bedömningarna av dessa två rymdprojekts betydelse för gruppernas renommé och kunskapsspridning utanför forskarsamfundet förefaller fullt logiska.



Figur 12 Experternas samlade bedömningar för instrument på de fem rymdprojekten: vetenskaplig kvalitet på publikationer, bidrag till internationellt renommé, och grad av framgång med vidare en kunskapsspridning. Skala: 1: inte alls till 5: i hög grad. Källa: Experternas ifyllda bedömningsmallar.

Figur 13 visar på samma sätt som föregående figur experternas bedömningar på de tre frågorna, men nu nedbrutet på instrument och forskargrupp.¹²



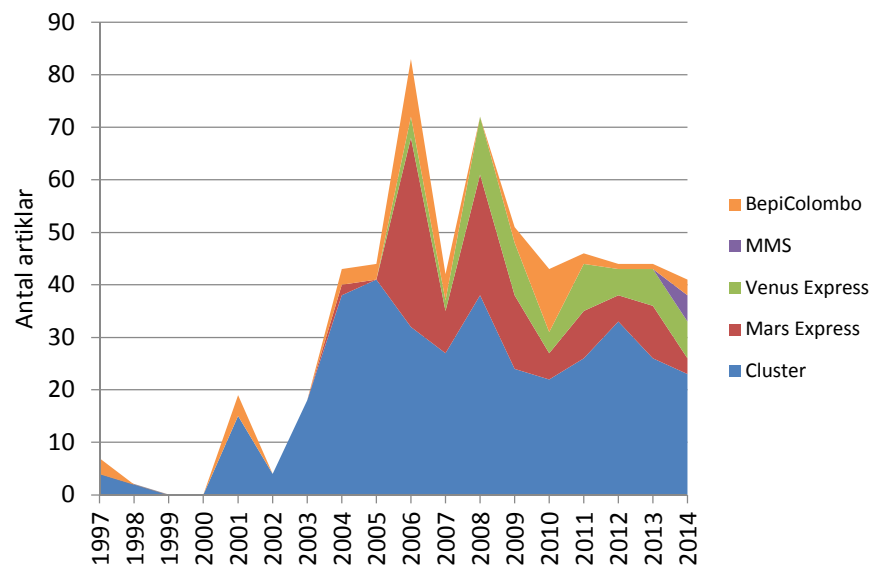
Figur 13 Experternas bedömningar per instrument och forskargrupp avseende samma frågor som i Figur 12. Källa: Experternas ifyllda bedömningsmallar.

¹² För de flesta instrument och forskargrupper bygger denna figur på bedömningar från tre experter, men en av dem avböjde att bedöma de två första frågorna för BepiColombo och de två senare för MMS. En expert förefaller också helt ha glömt att bedöma CIS-instrumentet (som tillkom i efterhand).

3.6 Vetenskaplig produktion

Två av de vanligast förekommande sätten att mäta vetenskaplig produktion är att räkna antalet examinerade doktorer och antalet publicerade vetenskapliga (*refereed*) tidskriftsartiklar. Vi har i avsnitt 3.4 redan berört forskarutbildningen, och konstaterade där att 24 doktorer och fyra licentiater som haft anknytning till de åtta instrumenten har examinerats sedan 1999.

Figur 14 visar antalet publicerade vetenskapliga tidskriftsartiklar per år och rymdprojekt. Sammanställningen bygger på forskargruppernas publikationslistor där samtliga artiklar där forskare från någon av de tre svenska grupperna är medförfattare. Det blygsamma antalet artiklar i början av tidsserien förklaras naturligtvis av att instrumenten på det första av de fem aktuella rymdprojekten, Cluster, inte togs i drift förrän 2000, vilket snabbt ledde till en spik 2001, och ett mycket stort antal artiklar under de följande åren. Mars Express togs i drift 2004, vilket ledde till ett mycket stort antal artiklar 2006. Nästa påtagliga topp, 2008, är dels ett resultat av att Venus Express togs i drift 2006, dels av många artiklar med anknytning till Cluster och Mars Express. Det kan tyckas anmärkningsvärt med så många artiklar med anknytning till instrumenten på BepiColombo, eftersom dessa ännu inte är uppsända. Enligt forskargruppen utmärks den förberedande forskningen associerad med BepiColombo av att det inte finns någon närbesläktad föregångare bland de utvärderade rymdprojekten. I andra fall har ofta förberedande forskning (som vanligtvis baseras på data från andra instrument) hänförs till tidigare rymdprojekt. Exempelvis har en del av den förberedande forskningen för MMS i denna sammanställning tillskrivits Cluster.

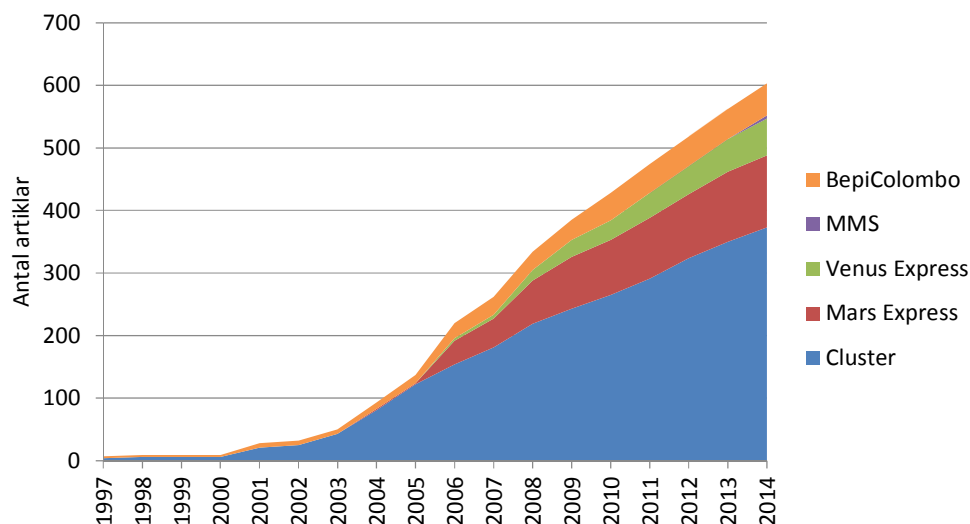


Figur 14 Antal tidskriftsartiklar 1997–2014 (per år). Källa: Forskargruppernas publikationslistor.

Det ska noteras att det finns ett visst mått av dubbelräkning i denna figur, så tillvida att artiklar som samförfattats av exempelvis IRF-U och KTH räknats två gånger, liksom att samma artikel kan ha attribuerats mer än ett instrument. Det senare förefaller särskilt vanligt förekommande för Mars och Venus Express, där attribueringen rimligen främst borde vara till Venus Express (utan ASPERA-4 hade det antagligen oftast inte blivit någon ytterligare publikation). Vi har inte haft möjlighet att eliminera dessa dubbelräkningar (mellan tio separata publikationslistor där referenser angivits på olika sätt), men så vitt vi kan se av stickprov är dubbelräkningen ändå inte så fasligt vanligt förekommande. Sammanfattningsvis innebär antalet tidskriftsartiklar hur som helst en viss överskattning.

Figur 15 visar den ackumulerade utvecklingen för tidskriftsartiklarna som redovisades i Figur 14. Sammanlagt är det per 2014 fråga om drygt 600 artiklar, men om ovan

nämnda dubbelräkningar hade kunnat elimineras hade det varit fråga om färre än 600 artiklar. I vilket fall en mycket omfattande vetenskaplig produktion. Om den nu långsamt avtagande publikationstakten avseende forskning baserad på data från Cluster fortsätter, bör 400 vetenskapligt granskade artiklar ha publicerats när 2016 är till ända (dock utan eliminering av dubbelräkning).

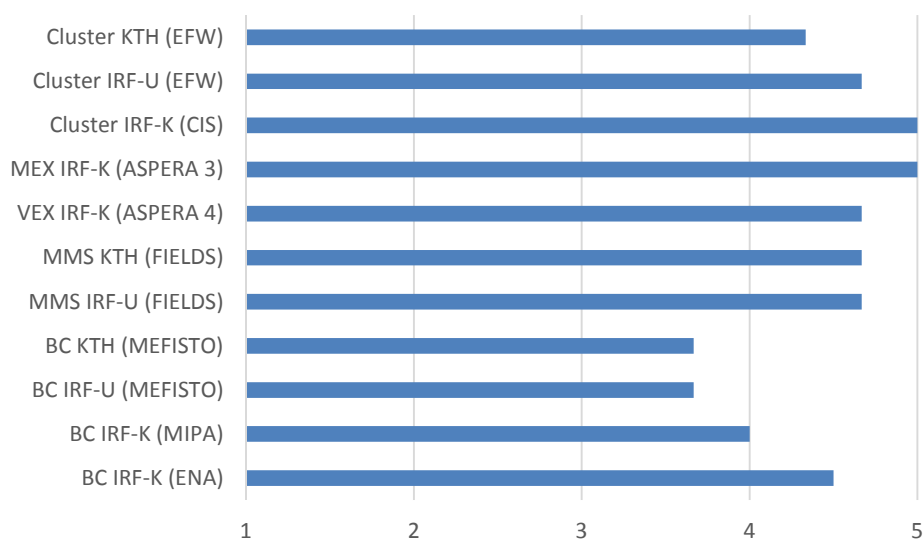


Figur 15 Antal tidskriftsartiklar 1997–2014 (ackumulerat). Källa: Forskargruppenas publikationslistor.

Denna typ av betraktelser av den vetenskapliga produktionen säger naturligtvis inget om dess kvalitet, vilken dock behandlades i föregående avsnitt. Experterna som Rymdstyrelsen anlätade ombads också bedöma den vetenskapliga avkastningen i relation till Rymdstyrelsens investeringar i utveckling och drift av instrumenten, det vill säga de sammanlagda investeringar som anges (i brödtexten) i kapitel 2. Även denna jämförelse haltar en del (liksom den som diskuterades i avsnitt 3.1), men den ska ses i ljuset av Rymdstyrelsens grundläggande fråga om vilken vetenskaplig avkastning som myndighetens investeringar i utveckling och drift över tid *utlöser* (men där forskningen i allt väsentligt finansieras genom andra stöd från Rymdstyrelsen och andra forskningsfinansiärer), alltså vad som Rymdstyrelsen *möjliggör* genom sina investeringar i utveckling och drift av instrument.

Experternas samlade bedömning är att Rymdstyrelsens finansiering utan tvekan står i proportion till den vetenskapliga produktionen för Cluster, men även för Mars och Venus Express bedömer de att Rymdstyrelsens investeringar har gett mycket bra avkastning med tanke på de förhållandevis låga utvecklingskostnaderna för dessa instrument. För de instrument som ännu inte har levererat data (eller mycket lite data, som MMS), och där den vetenskapliga produktionen än så länge är sparsam, är situationen naturligtvis betydligt mer svårbedömd, vilket Figur 16 illustrerar.¹³ Figuren indikerar dock att förväntningarna på MMS och BepiColombo är mycket höga (observera att denna fråga också efterfrågar *förväntad* vetenskaplig avkastning, jmf Tabell 2). Vi vill här påminna om att den uppskattade omfattningen av Rymdstyrelsens finansiering av utveckling och drift är något överskattad, eftersom (en okänd) del av den avsett forskning. Detta borde i princip innebära att experternas bedömningar är något konservativa.

¹³ Eftersom en expert helt förefaller ha glömt att bedöma CIS-instrumentet baseras denna bedömning endast på två experters individuella bedömningar.



Figur 16 Experternas bedömningar per instrument och forskargrupp av den vetenskapliga avkastningen i relation till Rymdstyrelsens investeringar i utveckling och drift. Skala: 1: inte alls till 5: i hög grad. Källa: Experternas ifyllda bedömningsmallar.

3.7 Möjliggörande faktorer

Som tidigare nämnts anser många av de intervjuade att det svenska småsatellitprogrammet innebar en språngbräda in i internationella rymdprojekt, jmf Figur 1. På samma sätt har de internationella instrumentprojekt som ingår i denna utvärdering, tillsammans med flera andra, varit avgörande för de projekt med svenskt deltagande som nu befinner sig i planeringsstadiet eller är under utveckling, JUICE, Solar Orbiter och THOR.¹⁴ Gruppernas internationella nätverk och tidigare erfarenheter (*flight heritage*) uppges ha varit helt avgörande för att ge dem centrala roller i dessa konsortier. Framtida möjligheter för svenska aktörer bygger alltså i mycket hög grad på historiska framgångar, och kan därmed delvis ses som ett förvaltande av tidigare forskargenerationers insatser.

Det står också klart att Rymdstyrelsens finansiering är helt avgörande för gruppernas möjligheter att utveckla, konstruera, bygga och driva instrument av denna storlek och komplexitet. Att Rymdstyrelsen också i ett senare skede finansierar forskning som baseras på de data som genereras ser de intervjuade som ett naturligt sätt för myndigheten att förvalta den investering som redan gjorts. Detta ger också forskargrupperna starka incitament att avsätta interna medel och att söka ytterligare extern finansiering.

Universitetsanknytningen sägs av flera intervjupersoner vara en tillgång i instrumentutvecklingen. Universitetet ses som en kompetenspool där kontakter med flera andra institutioner har etablerats genom åren. Det ger forskargrupperna enkel och snabb tillgång till kompetens inom områden som ligger vid sidan om den egna kärnverksamheten. I många fall söker forskarna råd, och kontakterna är som regel informella, men för KTH-gruppen har andra institutioner vid flera tillfällen varit formella underleverantörer.

Samtidigt menar flera intervjupersoner vid KTH att instrumentutveckling vid ett universitet har blivit svårare. Det interna stödet för denna typ av verksamhet har minskat och de intervjuade förklarar att verksamheten framstår som improduktiv när

¹⁴ THOR (Turbulence Heating Observer) är en storskalig mission med planerad uppsändning 2024 som har föreslagits till ESA.

numera gängse tillämpningsinspirerade indikatorer används, eftersom dessa inte tar hänsyn till de värden som instrumentprojekt skapar.

3.8 Risker med deltagande i instrumentprojekt

En utmärkande egenskap för denna typ av instrumentprojekt är de förhållandevis stora osäkerhetsfaktorer, främst tekniska, som ligger i att konstruera, bygga och sända upp en farkost som ska färdas till fjärran platser och utsättas för stora fysiska påfrestningar. Att bygga satelliter som sänds ut i rymden är därmed i grunden ett riskfyllt företag. Den misslyckade uppsändningen av Cluster är bara ett exempel på hur många års arbete kan spolieras på några få sekunder. Det finns således många risker som ligger bortom instrumentkonsortiernas kontroll, men som kan vara förödande för den verksamhet som har byggts upp i och med utvecklingen av ett instrument.

Intervjupersonerna pekar på ett antal risker som deltagare i instrumentprojekt måste hantera. Givet de långa tidsperspektiv som det är fråga om uppfattas personalomsättning av flera personer som en riskfaktor. Att plötsligt mista en eller flera nyckelpersoner kan vara synnerligen problematiskt för ett instrumentprojekt som redan från början är starkt beroende av ett fåtal forskare och tekniker.

Flera intervjupersoner talar om vikten av kontinuitet i verksamheten för att kunna upprätthålla och utveckla gruppens kompetens. Grupperna eftersträvar att hålla arbetsbördan jämn för både ingenjörer och forskare, vilket är en utmaning med flera parallella projekt som befinner sig olika faser. En längre tid av för låg beläggning kan leda till att arbetsamt upparbetad kunskap och kompetens går förlorad. Samtidigt riskerar små grupper att hamna i trångmål om flera projekt som löper parallellt kräver intensiva arbetsinsatser samtidigt.

Det finns alltid en risk för att oförutsedda händelser kan ändra förutsättningarna för ett instrumentprojekt. Exempelvis kan en partner plötsligt lämna konsortiet, vilket leder till att ansvar och arbetsuppgifter måste omorganiseras. Det finns också exempel på enstaka tillfällen då kravspecifikationerna för ett instrument har skärpts under projektets gång, vilket försvårat leveransen betydligt.

Trots den enorma noggrannhet som krävs i utvecklingen av ett instrument, och de omfattande tester och kalibreringar som instrumenten genomgår, så kan misstag fortfarande ske. Eftersom möjligheterna att åtgärda ett misstag när instrumentet redan befinner sig i rymden är mycket små, kan det för den organisation som bär ansvaret innebära ett hårt slag och en prestigeförlust. Men enligt flera intervjupersoner sätter de inte sitt renommé på spel i varje enskilt projekt, men skulle flera misstag begås skulle det sannolikt menligt påverka möjligheterna för en organisation att få ingå i framtida konsortier.

Det finns också ett mått av ekonomisk risk i de komponenter som instrumenten byggs upp av. Om dyrbara komponenter måste ersättas på grund av skada, eller för att en underleverantör inte kunde leva upp till kraven, kan det innebära en projektekonomisk ansträngning för organisationen.

Slutligen föreligger det en inlåsningsrisk för de organisationer som deltar i stora instrumentprojekt. En intervjuperson förklarar:

När vi väljer projekt väljer vi också forskningen. De beslut vi tog för 20 år sen påverkar det vi gör idag. Vi låser resurser för lång tid framåt”.

Citatet illustrerar att det finns ett betydande mått av stigberoende när organisationer ger sig in i projekt som kommer att pågå i decennier.¹⁵ Därtill är drivkraften stor att fortsätta i en sedan tidigare utstakad forskningsinriktning, eftersom utmaningarna förknippade med att som (relativt) oetablerad slå sig in på nya områden är betydande.

¹⁵ Med stigberoende (från engelskans *path dependence*) avses att ens valfrihet i en given situation begränsas av tidigare gjorda val.

4. Effekter i det omgivande samhället

I utvärderingsuppdraget ingick att undersöka vilka ytterligare effekter (vid sidan av effekter på mottagande forskargrupper) som uppstått i det omgivande samhället. Av Rymdstyrelsens instruktion framgår att ”Myndigheten ska verka för att rymdverksamhet och rymdforskning bidrar till kunskapssamhället och till industrins innovations- och konkurrenskraft” (1 §, del av). Att de studerade stora instrumentprojekten i plasmafysik möjliggör ”rymforskning [som] bidrar till kunskapssamhället” torde vara ställt bortom allt tvivel för den som läst föregående kapitel, men frågan är i vilken utsträckning som de på sikt kan bidra till samhällsliga effekter i en vidare bemärkelse.

4.1 Innovation och kunskapsöverföring

Vi har funnit mycket få exempel på avknopningsföretag eller patent som kan betraktas som (mer eller mindre direkta) effekter av de aktuella instrumentprojekten. Detta är enligt de flesta intervjupersoner helt naturligt, eftersom det innovativa elementet i instrumentutveckling i första hand handlar om vidareutveckling eller optimering av befintlig teknik, varför möjligheterna till nya upptäckter som kan bidra till innovation i traditionell mening är få. Teknikutvecklingen som sker i projekten sägs sällan ha någon direkt tillämpning inom andra områden än forskningsinstrument ämnade för rymden, eftersom kraven är så specifikt anpassade till de förhållanden som instrumentet ska verka under. Kunskaper och färdigheter i sådan instrumentkonstruktion är därför ofta inte relevanta för produkter för andra ändamål. Den teknik och den kompetens som utvecklas är därmed enligt de intervjuade sällan möjlig att kommersialisera. Ett fåtal försök har likväl gjorts, men den högst sporadiska efterfrågan gör det svårt att driva dessa företag annat än som bisyssla.

Vidare är den forskning som bedrivs baserad på instrumenten av grundläggande karaktär och saknar i huvudsak direkt tillämpning i det omgivande samhället. Däremot tillför forskningen kunskap till vår övergripande förståelse om vår omvärld utanför jordens atmosfär. Enligt flera intervjupersoner utgör den forskning som har bedrivits, liksom den som planeras genom framtida instrument, viktiga bidrag för att bättre förstå de grundläggande fenomen som styr det som kallas rymdväder. I takt med människans beroende av högteknologiska system ökar blir sårbarheten för förändringar i rymdvädet större, och därmed även vårt behov av att bättre förstå dessa processer så att rymdvädet i framtiden kan prognosticeras.

Flera intervjupersoner förklarar att det saknas drivkrafter för att ta tillvara möjligheter till avknopningsföretag och patent, såväl på individ- som organisationsnivå. För den enskilde forskaren förefaller intresset för just forskning överskugga eventuella ambitioner om att vidareutveckla teknik eller kunskap för att sedan kommersialisera den. Det föreligger förvisso inga formella hinder vid varken IRF eller KTH för den som vill försöka kommersialisera något, men det finns heller inga uppmuntrande incitament. Flera intervjupersoner påpekar också med eftertryck att det varken ligger deras uppdrag från Rymdstyrelsen eller i IRFs eget myndighetsuppdrag att prioritera sådan verksamhet. För KTH finns förvisso en sådan förväntan, men en institution som främst ägnar sig åt grundforskning har förstås en betydligt längre väg att gå i detta avseende än en som bedriver tillämpad forskning.

Det finns förvisso ett visst mått av kunskapsöverföring till de underleverantörer som anlitas under instrumentutvecklingen, men graden av denna är svårt att skatta. De höga krav på noggrannhet och prestanda som ställs är ibland utmanande för underleverantörer att leva upp till. I vissa fall krävs det en dialog i flera steg mellan beställare och utförare, och i den processen finns potential för kunskapsöverföring och ett lärande. Det är emellertid inte uppenbart hur underleverantörer skulle kunna utnyttja denna kompetens i sin ordinarie produktion, eftersom de höga krav som ställs på instrumentkomponenter när det gäller exempelvis toleranser, termisk belastning och strålningstålighet, inte krävs i särskilt många andra tillämpningar.

4.2 Långsiktiga samhällsliga effekter

Enligt flera intervjupersoner realiseras inte de långsiktiga effekterna av det svenska deltagandet i stora instrumentprojekt primärt i Sverige. De menar att verksamhetens internationella prägel innebär att effekterna bör sökas på europeisk eller global nivå. Att instrumentutvecklingen och den efterföljande forskningen är internationell till sin natur framgår tydligt när forskningsmiljöerna listar sina närmaste samarbetspartners; samarbetena sker i huvudsak med utländska aktörer, både när det gäller instrumentutveckling och forskning.

De flesta intervjupersoner berättar att samordningen mellan de tre svenska forskargrupperna är begränsad. Varje grupp agerar självständigt inom sina respektive upparbetade nätverk (som förvisso delvis överlappar). Inom forskningen är grupperna konkurrenter om samma nationella forskningsmedel, men på den internationella arenan har grupperna olika profil och konkurrerar inte direkt med varandra, utan främst med grupper i andra länder. Att ha tre konkurrenskraftiga forskargrupper (från två organisationer) tror flera intervjupersoner har gynnat Sveriges internationella deltagande, eftersom det tillför en bredd till svensk rymdforskning.

Den tydligaste effekten på det omgivande samhället torde vara att 24 doktorer och fyra licentiater har examinerats från 1999 till idag, och nära 60 procent av dessa doktorer arbetar i Sverige. Av de i Sverige verksamma doktorerna arbetar uppemot två tredjedelar inte med rymdrelaterad verksamhet, vilket resulterat i kunskapsspridning till samhället i en vidare bemärkelse. Därtill kommer två seniora forskare som har gått till svenska universitet och en som gått till ett svenskt företag, samt ett stort antal masterstudenter med anknytning till de tre miljöerna.

Även om effekten är omöjlig att skatta så är det inte så långsökt att anta att den uppmärksamhet som har skapats i samhället kring svenska deltaganden i stora internationella rymdprojekt har bidragit till att locka fler studenter till tekniska och naturvetenskapliga utbildningar (jmf Figur 12 och Figur 13). I förlängningen bidrar gruppernas forskning också till att upprätthålla Sveriges goda renommé som forskningsnation.

5. Rymdstyrelsens funktion och roll

5.1 Rymdstyrelsens funktion

Uppfattningen att Rymdstyrelsens finansiering är avgörande för svenska grupperns möjligheter att överhuvudtaget kunna delta i stora instrumentprojekt delas av samtliga intervjupersoner. Medverkan i sådana instrumentprojekt förutsätter en tryggad finansiering under storleksordningen decennier, och Rymdstyrelsen har i det avseendet ett unikt mandat som möjliggör finansiella åtaganden under så lång tid. Det finns i praktiken ingen alternativ finansiär för detta slags verksamhet, och varken IRF eller KTH skulle ha möjlighet att själva bära hela kostnaden för ett deltagande. Ur stödmottagarnas perspektiv har Rymdstyrelsen därmed en tydlig funktion att genom långsiktiga finansieringsåtaganden understödja svenska deltaganden för att tillvarata svenska intressen i internationella rymdsammanhang, vilket är i linje med att ”Rymdstyrelsen ska verka för att Sverige bidrar till och drar nytta av det europeiska samarbetet inom rymdområdet” (2 §, Rymdstyrelsens instruktion).

5.2 Rymdstyrelsen som finansiär och projektuppföljare

Intervjupersonerna anser närmast enhälligt att Rymdstyrelsen gör ett bra arbete med att stödja både instrumentutveckling och forskning. Rymdstyrelsen anses ha kunniga handläggare som uppvisar en stor förståelse för instrumentprojekt och därtill hörande forsknings förutsättningar. Rymdstyrelsens arbetssätt anses vidare borga för rättvisa bedömningar av forskningsansökningar, och myndigheten uppges ställa rimliga krav på återrapportering från finansierade projekt. En intervjuperson förklarar att ”det finns en naturlig smidighet i organisationen, eftersom den är så liten”.

Flera intervjupersoner påpekar att Rymdstyrelsen åtnjuter ett högt förtroende bland utländska aktörer, och har rykte om sig leva upp till sina långsiktiga åtaganden. Samma personer menar att detta är en viktig aspekt som på sikt troligen främjar svenska deltaganden i stora instrumentprojekt. I konsortiebyggande är inte bara förtroende mellan parterna själva kritiskt, utan också förtroende mellan de nationella myndigheter som ansvarar för respektive parts finansiering.

5.3 Rymdstyrelsen som diplomat

De flesta intervjupersoner säger sig ha en vag bild av Rymdstyrelsens arbete på den internationella arenan, men är förvissade om att myndigheten på ett bra sätt understödjer svenska deltaganden i instrumentprojekt. Några intervjuade önskar en större inblick i den politiska dimensionen genom en utökad dialog med Rymdstyrelsen, medan andra uttrycker ett svalt intresse för detta.

Rymdstyrelsen uppges så länge projekten fortlöper som planerat i normalfallet hålla sig på ”armlängds avstånd”, men myndigheten har också i enskilda projekt utgjort ett bra stöd när projekt fått problem.

5.4 Varför stödja svenska deltaganden i stora instrumentprojekt?

Denna möjligen provokativa fråga kan besvaras på flera sätt. Följande förslag på svar är utvärderarnas egna slutsatser baserade på den under uppdraget insamlade empirin.

- Det ingår i myndighetens uppdrag att ”främja och stödja rymdforskning på högsta internationella nivå” (3 § (del av), Rymdstyrelsens instruktion) och den forskning som har varit föremål för denna utvärderings expertgranskning är tydligt på högsta internationella nivå
- Eftersom den aktuella forskningen är på högsta internationella nivå bidrar den till Sveriges goda rykte som framstående forskningsnation
- Deltagande i spektakulära rymdprojekt sätter Sverige på kartan i internationella rymdsammanhang
- Sverige har ett ansvar att bidra till utforskandet av ”vår kosmiska närhet”

- Fortsatta investeringar i detta slags instrumentprojekt är ett sätt att förvalta tidigare gjorda investeringar i instrument som bidragit till uppbyggandet av internationellt konkurrenskraftiga forskargrupper vid IRF och KTH. Att upprätthålla dessa grupperns förmågor är således ett i sammanhanget kostnadseffektivt sätt att investera skattemedel i forskning. Att bygga upp liknande positioner inom andra områden av rymdforskningen eller för andra forskargrupper skulle (under en uppbyggnadsperiod) vara avsevärt mycket mer kostsamt än att underhålla och förvalta något som redan finns. Att etablera nya grupper som huvudansvariga för detta slags instrumentprojekt skulle sannolikt vara mycket svårt och skulle ta mycket lång tid, eftersom det kräver ett *flight heritage* som nya grupper skulle ha svårt att få ta det första steget för att bygga upp
- Deltagande i ESA-ledda rymdprojekt och deras instrumentprojekt är ett sätt att dra nytta av Sveriges bidrag till ESA
- Verksamheterna vid IRF och KTH är ett sätt att upprätthålla högkvalificerad verksamhet i Sverige; detta slags arbetsplatser är måhända särskilt betydelsefulla i Kiruna
- Deltagande i spektakulära rymdprojekt har ett allmänt nyhetsvärde och leder rimligen till ett ökat intresse för naturvetenskap och teknik

6. Slutsatser och diskussion

6.1 Slutsatser

Det råder inga tvivel om att forskargrupperna vid IRF-K, IRF-U och KTH är internationellt erkända och mycket konkurrenskraftiga, både som instrumentkonstruktörer och som forskare. Frågan är dock i vilken utsträckning som gruppernas nuvarande positioner och anseenden är effekter av deras deltagande i åtta specifika instrumentprojekt. Vi har i våra intervjuer mötts av påfallande samstämmiga utsagor, såväl från intervjupersoner från KTH och IRF som från externa aktörer och utländska kollegor, och den bild som framträder i intervjuerna bekräftas av den vetenskapliga expertgranskningen: De aktuella instrumentprojekten har varit och är fortsatt mycket betydelsefulla för gruppernas möjlighet att bygga upp och upprätthålla världsledande positioner inom det internationella forskarsamfundet. Grupperna har därmed bidragit till att sätta Sverige på kartan i internationella rymdsammanhang. Att döma av utsagor från intervjupersoner utanför Sverige och omdömena från experterna, förefaller gruppernas forskare dessutom vara utmärkta ambassadörer för en redan väl ansedd svensk rymdverksamhet.

Den vetenskapliga produktionen (tidskriftsartiklar och forskarexamina) med anknytning till de åtta instrumentprojekten är omfattande, och publikationerna är enligt experterna av hög vetenskaplig kvalitet. Givet Rymdstyrelsens instruktion att ”verka för att rymdverksamhet och rymdforskning bidrar till kunskapsområdet” (1 § (del av)), framstår dessa åtaganden som motiverade investeringar som förefaller ha gett god vetenskaplig avkastning. Mycket talar också för att de instrument som ännu inte är i drift kommer att visa sig ge värdefulla bidrag till kunskapen om såväl vår kosmiska närhet som andra planeter.

Det är en oundviklig slutsats att Rymdstyrelsens långsiktiga åtaganden och finansiering är kritiska för gruppernas möjligheter att genomföra instrumentprojekt. Det finns helt enkelt ingen alternativt finansiering med samma långsiktighet och uthållighet. Utvärderingen visar också att det finns andra mer eller mindre mindre avgörande förutsättningar för att önskvärda effekter ska uppstå. En sådan förutsättning förefaller vara att gruppen har en kritisk massa av såväl teoretiskt och mer praktiskt lagda forskare som kompetenta och kreativa ingenjörer. IRF har med internationellt ansedda forskare och mycket erfarna ingenjörer visat sig ha en god förmåga att leda stora och komplexa instrumentprojekt. Även gruppen vid KTH har tagit ledningen i flera projekt, men har genom att den är väsentligt mindre (än grupperna vid IRF) inte samma möjligheter att ta ledande positioner i flera samtidiga uppdrag.

Effekterna i det omgivande samhället står huvudsakligen att finna i de 24 doktorer med anknytning till instrumentprojekten som har examinerats, och 60 procent av dessa arbetar idag i Sverige. Av de i Sverige verksamma doktorerna arbetar uppemot två tredjedelar inte med rymdrelaterad verksamhet. Därtill kommer tre seniora forskare som har gått från de tre grupperna till andra svenska arbetsgivare, samt ett stort antal mastersstudenter. Dessutom förefaller det rimligt att anta att den uppmärksamhet som skapats kring det svenska deltagandet i stora internationella rymdprojekt har bidragit till att locka fler studenter till tekniska och naturvetenskapliga utbildningar. Forskningen i sig innebär en ökad förståelse för de processer som styr rymdvärdet, vilken behövs för att i framtiden kunna prognosticera det.

Ur stödmottagarnas perspektiv är Rymdstyrelsen tvivelsutan en kompetent finansierare av både instrumentutveckling och forskning. Få intervjupersoner, om ens någon, har konkreta förslag på hur Rymdstyrelsens skulle kunna förbättra sig i detta avseende. Självklart ska stödmottagarnas utsagor i detta sammanhang inte utan vidare tas för objektiv sanning, men efter att flera utvärderingar av Rymdstyrelsens program under de senaste åren har kommit fram till i stort sett samma slutsatser när det gäller Rymdstyrelsen som finansierare, så är vi beredda att sluta oss till att Rymdstyrelsen är en uppskattad finansierare som gör ett gott arbete för att bereda vägen för svenska deltaganden i instrumentprojekt.

Det finns ett antal möjliga argument till varför Rymdstyrelsen ska stödja svenska deltaganden i stora instrumentprojekt. Dessa spänner från rent filosofiska till krasst rationellt ekonomiska. Åtminstone ett av dem är att finansiering av instrumentprojekt stämmer överens med myndighetens uppdrag.

6.2 Reflektion

I detta avsnitt reflekterar vi kring utvärderingens empiri och tidigare gjorda konstateranden i ljuset av våra tidigare erfarenheter.

En liten krets

I de flesta verksamheter påbörjas en god cirkel för den som visar sig vara kompetent, och inte minst gäller detta i forskningssammanhang. Den forskare som genom publikationer dokumenterat sin skicklighet har lättare att få finansiering för ytterligare forskning, dels på grund av sitt renommé och CV, dels genom att forskaren genom sin erfarenhet har bättre förutsättningar att på ett övertygande sätt beskriva den tänkta forskningen så att ansökan framstår som oemotståndlig för dem som har att bedöma den. På ett analogt sätt har framgångsrika forskningsorganisationer (som i praktiken utgörs av en samling framstående forskare) bättre förutsättningar än andra organisationer att bli värddar för nya forskningsprojekt. De instrumentprojekt, med efterföljande forskningsprojekt, som denna utvärdering har analyserat följer på många sätt en liknande logik; framgång föder framgång.

När det gäller instrumentprojekt förefaller dock tröskeln för att komma in i "systemet" ("inträdesbarriär" i Porters femkraftsmodell¹⁶) vara mycket högre än i de flesta andra sammanhang, eftersom trovärdighet bygger på att man redan har ansvarat för ett instrument som framgångsrikt flugit (*flight heritage*). IRF och KTH byggde upp sina flygerfarenheter genom det svenska småsatellitprogrammet, som var en nationell satsning av ett slag som knappast lär återkomma. Andra svenska aktörer torde därmed ha mycket svårt att komma in i denna klubb, men för dem som redan är med i den finns goda möjligheter att klättra vidare i komplexitet och ansvar. Dessutom värderas i dessa sammanhang vetenskaplig produktivitet högt, vid sidan av kompetens och pålitlighet i instrumentutveckling, -byggande och -drift, eftersom det ju är forskning det till *syvende og sidst* handlar om. För de som lever upp till sådana förväntningar, och det gör IRF och KTH, är möjligheterna att beviljas offentlig finansiering till sin verksamhet generellt sett goda.

Stigberoendet är påtagligt

Vi resonerade i avsnitt 3.8 om ett stigberoende för de organisationer som ger sig in i ett instrumentprojekt, eftersom de löper över – och därmed låser resurser – under lång tid. Detta gäller naturligtvis också Rymdstyrelsen som ikläder sig lika långa finansieringsåtaganden. För Rymdstyrelsen finns dock ytterligare stigberoenden där de två första punkterna nedan båda har sin grund i diskussionen i föregående stycke:

- Det framstår som tämligen osannolikt att några andra (svenska) organisationer än IRF och KTH skulle kunna komma ifråga som huvudansvariga för stora instrumentprojekt inom rymdplasmafysik
- Om svenska organisationer ska fortsätta ha ledande roller i stora instrumentprojekt är Rymdstyrelsen närmast tvungen att fortsätta finansiera dessa forskargrupper deltaganden för att de ska kunna upprätthålla sina kompetenser. Ett beslut att sluta finansiera dem vore sannolikt oåterkalleligt
- Det förefaller högst osannolikt att Rymdstyrelsen skulle finansiera ett omfattande svenskt deltagande i ett instrumentprojekt utan att sedan bevilja finansiering för att bedriva forskning på data från instrumentet. Intervjupersonerna hävdar att de inte positivt särbehandlas av Rymdstyrelsen (eller dess expertutvärderare) när det gäller forskningsfinansiering, utan att de helt enkelt skriver bättre ansökningar för att de

¹⁶ M. E. Porter, *The Five Competitive Forces That Shape Strategy*, Harvard business Review, 2008.

är så kompetenta och djupt insatta i projekten. I vår datainsamling har vi inte funnit några uppenbara indikationer på att någon sådan positiv särbehandling skulle föreligga, men blotta misstanken skulle kunna utgöra ett imageproblem för Rymdstyrelsen

Tillgång på forskningsfinansiering

För en utomstående förefaller forskarnas inställning till tillgången på forskningsfinansiering vara lite motsägelsefull. Å ena sidan förklarar flera intervjupersoner att deras forskningsfinansiering inte räcker till för att fullt ut analysera alla data som instrumenten genererar. Å andra sidan säger sig grupperna inte vara underfinansierade när det gäller forskning. En möjlig tolkning av dessa utsagor är att finansieringen räcker till för att bedriva den mest angelägna forskningen, medan den mindre angelägna inte blir gjord. Är så fallet är väl allt gott och väl, och Rymdstyrelsens medelstilldelning väl avstämd. Samtidigt står det klart att dessa gruppers forskningsfinansiering från andra finansiärer än Rymdstyrelsen är förhållandevis blygsamma (jmf figurerna i kapitel 2; möjligen med undantag för EFW-instrumentet på Cluster).

Intervjupersonerna anför andra finansiärers (ur ett rymdforskningssperspektiv) korta tidshorisonter som anledning till varför forskningsfinansiering från andra finansiärer är så små. När det gäller VR anføres också att rymdforskare emellanåt förfördelas för att de redan anses ha en "egen" finansiär (ett beteende som inte kan uteslutas). I detta avseende kan Rymdutredningens förslag till en ökad samverkan mellan Rymdstyrelsen, VR, VINNOVA och Formas mycket väl visa sig vara ändamålsenlig.¹⁷

Korta tidshorisonter kan möjligen vara en giltig argumentation om forskningen ska utföras av seniora forskare, men handlar det om finansiering av doktorander menar vi att argumentet är irrelevant. Eftersom flera av de forskare som är aktiva i de instrumentprojekt som omfattats av denna utvärdering alldeles tydligt är mycket framstående internationellt sett, borde det finnas rimliga möjligheter för dem att beviljas stöd från ERC (som kan vara upp till fem år långa). Några försök sägs ha gjorts, men ingen har ännu beviljats finansiering från ERC. Flera intervjupersoner argumenterar för att chansen att beviljas stöd från ERC är för liten för att det ska vara mödan värt, men en av dem förklarar att om man har kniven mot strupen så ställs möjligheten i ett annat ljus. En alternativ tolkning till att Rymdstyrelsens medelstilldelning skulle vara väl avstämd är att den är så generös att forskarna har blivit lite bortskämda (i just detta avseende).

Starkt beroende av ett fåtal manliga forskare

Det framkommer tydligt att alla tre forskargrupper är starkt beroende av ett fåtal nyckelpersoner, både när det gäller forskare och när det gäller ingenjörer. Intervjupersonerna förklarar att detta är oundvikligt eftersom organisationerna i sig är så små, vilket förefaller rimligt. Det är då extra viktigt att organisationerna har genomtänkta successionsplaner, såväl för personer som närmar sig pension som för oförutsägbara avgångar, vilket grupperna uppger att de har.

En personalrelaterad fråga som kanske inte har fått samma uppmärksamhet är att dessa grupper helt saknar kvinnor på ledande positioner. Rent imagemässigt är detta naturligtvis inte bra, och om ett av argumenten till varför Rymdstyrelsen ska finansiera detta slags verksamhet är att stimulera till ett ökat intresse för naturvetenskap och teknik, stärks detta knappast av om det bara gäller hälften av alla ungdomar. Här finns utrymme för förbättring (även om vi inser att det är betydligt lättare att påpeka än att åtgärda).

Effekter i det omgivande samhället

Det är inte främst gängse observerade samhällsekonomiska effekter som motiverar offentliga investeringar i den typ av grundforskningsprojekt som de nu utvärderade

¹⁷ "En rymdstrategi för nytta och tillväxt" (SOU 2015:75), 2015.

instrumentprojekten möjliggör. Forskargrupperna har heller inte något uppdrag att leverera till exempel innovationer eller avknopningsföretag, varken i sina kontrakt med Rymdstyrelsen eller i sina formella instruktioner som myndigheter. IRF ska enligt sin instruktion ”bedriva och främja forskning och utvecklingsarbete av högsta vetenskapliga kvalitet samt mät- och registreringsverksamhet inom främst ämnesområdet rymdfysik” (1 § (del av)). Förvisso har KTH som universitet i uppgift att samverka med det omgivande samhället och verka för att forskningsresultat kommer till nytta, men en institution som främst ägnar sig åt grundforskning har förstås betydligt sämre förutsättningar att leverera innovationer eller avknopningsföretag än en som bedriver tillämpad forskning.

Däremot visar denna utvärdering att de tre gruppernas vetenskapliga produktion både är omfattande och av hög kvalitet, och att de bidrar till omfattande internationella samarbeten, forskarutbildning och förhoppningsvis ett ökat intresse för naturvetenskap och teknik. Mot denna bakgrund anser vi inte att det finns någon grund för att hävda att de samhällsekonomiska effekterna inte skulle stå i proportion till de offentliga investeringarna.

Alternativutnyttjande

Rymdstyrelsen kan sägas ha ett tudelat uppdrag, där ena delen är att verka för industri- och samhällsnytta och den andra delen är att främja och stödja rymdforskning. Frågan om balansen mellan de två delarna är säkert ämne för återkommande diskussioner med uppdragsgivaren Utbildningsdepartementet. Huruvida nivån på myndighetens investeringar i instrumentprojekt är befogade ligger utanför denna utvärderings mandat, men utvärderingen visar vilka slags resultat och effekter som sannolikt skulle utebli om detta slags satsningar skulle upphöra, varför den bör kunna utgöra ett underlag för sådana diskussioner.

Bilaga A Förkortningar

| | |
|---------|--|
| ASPERA | Analysen of Space Plasma and Energetic Atoms |
| BC | BepiColombo |
| CAA | Cluster Active Archive |
| CIS | Cluster Ion Spectrometry experiment (på Cluster) |
| Co-I | Co-Investigator |
| Co-PI | Co-Principal Investigator |
| CSA | Cluster Science Archive |
| DFR | Statens delegation för rymdverksamhet |
| EFW | Electric Field and Wave experiment (på Cluster) |
| ENA | Energetic Neutrals Analyzer (på BepiColombo) |
| ERC | European Research Council |
| ESA | European Space Agency |
| EU | Europeiska unionen |
| IRAP | Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie |
| IRF | Institutet för rymdfysik |
| IRF-K | Institutet för rymdfysik i Kiruna |
| IRF-U | Institutet för rymdfysik i Uppsala |
| ISRO | Indian Space Research Organisation |
| JAXA | Japan Aerospace Exploration Agency |
| JUICE | JUperiter ICy moons Explorer |
| KTH | Kungliga Tekniska högskolan |
| MEFISTO | Mercury Electric Field In Situ TOol (på BepiColombo) |
| MEX | Mars Express |
| MIPA | Miniature Ion Precipitation Analyzer (på BepiColombo) |
| MMO | Mercury Magnetospheric Orbiter (del av BepiColombo) |
| MMS | Magnetospheric Multiscale |
| MPO | Mercury Planetary Orbiter (del av BepiColombo) |
| MPPE | Mercury Plasma Particle Experiment (på BepiColombo) |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NGO | Non-governmental organisation |
| PI | Principal Investigator |
| PWI | Plasma Wave Investigation (på BepiColombo) |
| RAPID | Research with Adaptive Particle Imaging Detectors (på Cluster) |
| SARA | Sub-keV Atom Reflecting Analyser |
| SDC | Scandinavian Data Centre |

| | |
|--------|--|
| SERENA | Search for Exosphere Refilling and Emitted Neutral Abundances (på BepiColombo) |
| SIDA | Swedish International Development Cooperation Agency |
| SNSB | Swedish National Space Board (Rymdstyrelsen) |
| SRAC | Space Research Advisory Committee |
| SSF | Stiftelsen för strategisk forskning |
| UU | Uppsala universitet |
| VEX | Venus Express |
| VR | Vetenskapsrådet |

Bilaga B Intervjupersoner och deltagare i tolkningsseminarium

B.1 Intervjupersoner

| | |
|--------------------|---|
| Herman Andersson | IRF-K |
| Mats André | IRF-U |
| Stanislav Barabash | IRF |
| Pontus Brandt | Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory |
| Lars Bylander | KTH |
| Lars Eliasson | IRF |
| Anders Eriksson | IRF-U |
| Philippe Escoubet | ESA |
| Mats Holmström | IRF-K |
| Yasumasa Kasaba | Tohoku University |
| Esa Kallio | Aalto-universitetet |
| Tomas Karlsson | KTH |
| Yuri Khotyaintsev | IRF-U |
| Per-Arne Lindqvist | KTH |
| Göran Marklund | KTH |
| Hans Nilsson | IRF-K |
| Torbjörn Sundberg | Queen Mary University of London |
| Johan Svensson | IRF-K |
| Andris Vaivads | IRF-U |
| Jan-Erik Wahlund | IRF-U |
| Martin Wieser | IRF-K |
| Peter Wurz | University of Bern |
| Futaana Yoshifumi | IRF-K |
| Lennart Åhlén | IRF-U |

B.2 Deltagare i tolkningsseminarium

| | |
|---------------------|---------------|
| Mats André | IRF-U |
| Stanislav Barabash | IRF |
| Kristine Dannenberg | Rymdstyrelsen |
| Johan Köhler | Rymdstyrelsen |
| Ronnie Lindberg | Rymdstyrelsen |
| Per-Arne Lindqvist | KTH |
| Göran Marklund | KTH |
| Johan Marcopoulos | Rymdstyrelsen |

Maria Nilsson

Olle Norberg

Anders Håkansson

Tomas Åström

Rymdstyrelsen

Rymdstyrelsen

Faugert & Co Utvärdering

Faugert & Co Utvärdering

Bilaga C Scientific peer review report: Swedish contributions to selected missions in Space Physics

C.1 Introduction

The Swedish National Space Board (SNSB) conducts an impact evaluation of the impact on Swedish research groups of their participation with hardware contributions to major space missions in space physics. As part of this evaluation, a scientific assessment was performed by three international experts. Each member of the panel has reviewed all material submitted by the research groups for the review.

Based on the input from the review panel, this report has been prepared by SNSB.

SNSB's impact evaluation is performed by Faugert & Co Utvärdering, the Swedish part of the Technopolis Group. This scientific assessment of the peer review panel forms part of their material for evaluating the impacts. The peer review was administered by SNSB.

C.1.1 Instrument contributions from Swedish research groups included in the peer review

SNSB selected the following Swedish contributions to instruments for the evaluation:

- Electric Field and Wave experiment (EFW) on the ESA Cluster mission, from the Swedish Institute for Space Physics in Uppsala (IRF, Uppsala) and the Royal Institute of Technology (KTH).
- Cluster Ion Spectrometry experiment (CIS) on the ESA Cluster mission, from the Swedish Institute for Space Physics in Kiruna (IRF, Kiruna).
- Aspera-3 on the ESA Mars Express (MEX) mission, from the Swedish Institute of Space Physics in Kiruna (IRF, Kiruna).
- Aspera-4 on the ESA Venus Express (VEX) mission, from IRF, Kiruna.
- The contribution to the FIELDS instrument on the NASA Magnetospheric Multiscale mission (MMS), from KTH and IRF, Uppsala.
- Mefisto in the Plasma Wave Investigation on the ESA/JAXA BepiColombo mission, from KTH and IRF Uppsala.
- Energetic Neutral Analyzer (ENA) in the Mercury Plasma Particle Experiment (MPPE) on the ESA/JAXA BepiColombo mission, from IRF, Kiruna.
- Miniature Ion Precipitation Analyzer (MIPA) in the Serena instrument on the ESA/JAXA Bepi/Colombo mission, from IRF, Kiruna.

C.1.2 Material requested from the research groups for the peer review

From the groups involved, and for each instrument project separately, the following material was submitted for the peer review panel:

- One abstract, summarizing the contribution, goals and results of the research group.
- Five selected publications using results from the instruments in operation (Cluster, MEX, VEX). In addition, up to three publications from the development phase of the instrument may be included.
- Up to five publications on instruments in development and not yet in operation (MMS, BepiColombo).
- A complete list of publications from the group's contribution to the project. The publications where the major part of the work was done by the group will be highlighted.

- A list of Ph.D. graduates and M.Sc. theses awarded where the main work concerned development or data from the project.
- A list of major public outreach events and publications from the project.

C.2 Peer review panel

The peer review panel consisted of the following three scientists:

C.2.1 Professor Viviane Pierrard, Belgian Institute of Space Aeronomy

Professor Viviane Pierrard is the director of the Solar Wind division at the Belgian Institute of Space Aeronomy, and the Center of Space Radiation at Université Catholique de Louvain.

C.2.2 Professor Christopher T. Russell, University of California, Los Angeles

Professor Christopher T. Russell is a member of the faculties of both the Institute of Geophysics and Planetary Physics and the Department of Earth and Space Sciences. He is acting System-wide Director of IGPP. He is the head of the Space Physics Center in IGPP, UCLA and the Director of the UCLA Branch of the California Space Grant Consortium. He is the principal investigator on the POLAR mission; a co-investigator on the magnetometer team on the Cassini mission to Saturn; the ROMAP investigation on the Rosetta mission to comet Churyumov-Gerasimenko; the IMPACT investigation on the STEREO mission to study solar and solar wind disturbances; the THEMIS mission to study substorms; and the magnetometer investigation on the Venus Express mission to study the solar wind interaction with Venus. He is the principal investigator of the Dawn mission to the asteroids Vesta and Ceres.

C.2.3 Professor Andrew W. Yau, University of Calgary

Professor Andrew W. Yau is the lead responsible for scientific satellite operations of the CASSIOPE small satellite and Enhanced Polar Outflow Probe (e-POP) space weather science payload operation as Principal Investigator. He served as Senior NSERC Industrial Research Chair in Experimental Space Science between 2003 and 2014. His research pursues satellite-observation studies of ionosphere-magnetosphere composition and dynamics. His expertise includes advanced space science instrumentation; small satellite, micro-satellite, and sounding rocket missions; ionosphere-magnetosphere composition and dynamics.

C.3 Summary report on the peer review

The reviewed contributions fall in two main categories – missions that have been long in operation, and missions that have been only recently launched or are yet to be launched, but where the Swedish instrument contributions have already been made.

Overall, for missions in operation, the Swedish accomplishments are very good, often representing the forefront of science. For missions not yet in operation or still under commissioning, it has been difficult to assess the expected outcome in a credible way. The reviews on these contributions are included for completeness, to support the larger context of the impact evaluation.

From the scientific evaluation, it is clear that the research groups benefit from the participation with instruments in the instrument consortia and missions, and that their respective current and future positions in the scientific community depend partly on such participation.

In general, the investments of SNSB in the different projects are well worth the effort. It is also worth to point out that all sizes of project contributions are necessary, both smaller, high-return projects like CIS and larger PI-projects like EFW or Aspera-3. While a small investment can bring huge science return in some cases, the larger investments are needed to provide substantial support to complex instruments or valuable lead to international consortia.

C.3.1 CIS – Cluster: IRF, Kiruna

The reviewers find themselves well qualified to evaluate the CIS instrument and the IRF, Kiruna participation.

The output from the group is very much of high scientific quality, in terms of the scientific impact of its many publications, including several in the paradigm-changing category in ion outflow and planetary escape, and the relatively large number of high-quality publications, for a Co-I team. Overall, high impact on the field from a small contribution.

The IRF, Kiruna group is very well positioned in the international scientific community, and is arguably one of the most successful research groups in planetary magnetospheric physics, by virtue of its world-renowned expertise in plasma measurements and its numerous, highly important scientific contributions in Cluster and many other space missions.

The CIS project has contributed to a high degree to the group's current position, from the small investment in hardware, by the successful long-term operation and provision of expertise in the consortium. The group's position has grown stronger over the lifetime of the CIS project, in no small part from the scientific accomplishments.

The group's scientific output from the Cluster CIS project has contributed very much to the advancement of the international scientific frontier –particularly in ionospheric ion outflows and planetary plasma escape, but also in solar wind-magnetosphere interactions. The project has clearly demonstrated the group's capabilities in plasma physics, and the many top-level publications include very interesting physical results for the magnetosphere.

The scientific output of the CIS project is definitely very commensurate with the investment of the SNSB, in terms of the impact of its scientific publications on the field and the very large number of high-quality publications. This was a small investment with a large return.

The group's project-related public outreach activities primarily entail media interviews or a part of a public lecture or tour. Although such activities are relatively infrequent, they appear to have quite a strong impact both inside and outside Sweden.

C.3.2 EFW – Cluster: IRF, Uppsala

The reviewers find themselves well qualified to evaluate the EFW instrument and the IRF, Uppsala participation.

The output from the group is very much of high quality, based on the scientific impact of the selected publications in multiple areas of the field (especially magnetic reconnection and cold magnetospheric plasma), the very large number of high-quality publications amongst the even larger number (more than 400) of publications in prestigious international journals, and the number of Ph.D. and Licentiate theses.

The group is extremely well positioned in the international scientific community, and is arguably one of the most successful research groups in magnetospheric physics, by virtue of its numerous, highly important scientific contributions in the Cluster and other space missions. The team has the PI of the Electric Field and Wave (EFW) instrument in this major mission. They were responsible of coordination of manufacturing, testing and delivery of the instrument. In addition, they analyzed the data. They maintain many collaborative works with international scientific teams, often with the Royal Institute of Technology in Stockholm.

The group's many fundamental scientific contributions in the Cluster mission have contributed very much to its current, lead position in the international community. Indeed, the measurements from Cluster have been essential to the group's success. The international connections from the Cluster collaborations have enabled the group's position in most present and future major space missions.

The group's scientific output from the Cluster EFW project has contributed very greatly to the advancement of the international scientific frontier in multiple areas, particularly in magnetic reconnection and cold magnetospheric ion plasma. There is a trend that the research is no longer as new and novel as earlier in the program.

The scientific output of the EFW project is definitely very much commensurate with the investment of the SNSB, whether it is on the basis of the impact of its scientific publications on the field, or the very large number of high-quality publications, or the number of graduate students trained. The investment is well justified and the results are impressive.

The group has been very active as well as successful in its public outreach and awareness activities, not only inside Sweden but also at the international level. Of particular note is the way the group organizes its outreach effort as an integrated part of its overall services to the community.

C.3.3 EFW – Cluster: KTH

The reviewers find themselves well qualified to evaluate the EFW instrument and the KTH participation.

The output from the group is of high scientific quality and very impressive, in terms of the scientific impact of a number of its publications in the field of auroral dynamics, and the large number of high-quality publications lead-authored or co-authored by the group. The project has a long and productive history but less output and impact now.

The group is very well positioned in the international scientific community, by virtue of its many important scientific contributions in auroral electric field and dynamics over the years, and its strong reputation and track record in space-borne electric field measurements. The good reputation of the group will help them to heading future studies.

The Cluster EFW project has contributed positively and significantly to the group's current position in the international community. The instrument is key to the group's reputation. The project has produced a rich number of publications that dominated the KTH research activity these years. KTH staff also have important tasks within the Cluster science community, including chair of Wave Experiment Consortium and validation of the data to Cluster Active Archive.

The group's scientific output of the Cluster EFW project has contributed much to the advancement of our scientific knowledge in auroral acceleration processes, magnetosphere-ionosphere coupling, magnetospheric ultra-low frequency (ULF) waves, and the auroral substorms. This includes many top-level publications reporting interesting discoveries.

The scientific output of the EFW project is very commensurate with the investment of the SNSB, in view of the very large number of high-quality publications overall resulting from the project, including both papers involving the KTH group and those involving other groups in and outside Sweden. This was a considerable investment but over a long period of time, and it is but justified by the high impact and excellent results.

The KTH group has contributed well to the public impact of the Cluster mission and the EFW project via its public outreach activities. This involves primarily a dozen of public lectures or interviews given over the lifetime of the project to date.

C.3.4 Aspera 3 – MEX: IRF, Kiruna

The reviewers find themselves well to very well qualified to evaluate the Aspera-3 instrument and the IRF, Kiruna participation.

The phenomenal number of excellent-quality publications resulting from Aspera-3 is quite impressive. More importantly, a number of these publications are undoubtedly seminal contributions to the field. These include the papers on the mass composition of escaping plasma, Mars atmospheric erosion, and the discovery of energetic neutral atoms, respectively. The project has laid the groundwork for more extensive study with

e.g. MAVEN. Even though there was no magnetometer on Mars Express, the long series of data enable useful statistical studies and new discoveries like Mars atmospheric plumes.

The group is very well positioned in the international scientific community, as can be seen by the group's involvement in numerous major international planetary exploration missions in the past few decades. The group's position in the international community continues to grow over the time of the Aspera-3 project to date, as its many significant scientific contributions and accomplishments in the MEX mission come to the fore. Partly through the success of this project, the group has established their European leadership on e.g. the Jupiter mission Juice.

Despite the long-term, excellent reputation of the group as one of a few top groups in the world in plasma and ion composition instruments, the Aspera-3 project contributed significantly to the group's position – and stature – in the international scientific community, by virtue of the success of the ENA sensor.

The group's scientific output of the Aspera-3 project contributes very greatly to the advancement of the scientific frontier in the area of planetary atmospheric escape and evolution. A number of these publications resulting from the project are clearly seminal contributions to the field. Major discoveries include quantifications of escape rate of heavy ions and better understanding of water loss from this planet.

The scientific output of Aspera-3 is very much commensurate with the investment of the SNSB. It is recognized that the development of ASPERA-3, being an adapted design from its earlier predecessors, incurred relatively little non-recurring engineering cost compared with its predecessors. Nevertheless, the cost of the project is modest considering both the quantity and quality of its scientific output.

The IRF-K group has clearly done a very impressive – as well as effective and balanced – job in public outreach, encompassing many public outreach activities, popular science articles, and press releases. There is big impact on the highly interested public and media because Mars is the nearest planet where possibility of life is not excluded.

C.3.5 Aspera 4 – VEX: IRF, Kiruna

The reviewers find themselves well to very well qualified to evaluate the Aspera-3 instrument and the IRF, Kiruna participation.

The group's output from the Aspera-4 project is very much of high scientific quality, in terms of the impressive number of quality publications in prestigious international journals, and the significant scientific results in the selected publications regarding plasma loss and the influence of the solar wind and the interplanetary magnetic field on Venus.

The group is very well positioned in the international scientific community, as can be seen by the group's involvement in numerous major international planetary exploration missions in the past few decades. The group's position in the international community continues to grow over the time of the Aspera-3 and Aspera-4 projects to date, as the result of its many significant scientific contributions and accomplishments in the MEX and VEX missions come to the fore. To some degree, through the success of this project, the group has established their European leadership on e.g. the Jupiter mission Juice.

The Aspera-4 project has contributed much to the group's current position and stature in the international scientific community. The group's higher-profile (and arguably more significant) scientific accomplishments in MEX, makes the Aspera-4 contribution to the group's current position slightly overshadowed.

The group's scientific output of the ASPERA-4 project has contributed to a good extent the advancement of the scientific frontier in the areas of planetary atmospheric and plasma escape and solar wind-planetary interactions, in that a number of the observation results from the project have provided important new scientific knowledge and insights in the field.

The scientific output of ASPERA-4 is very much commensurate with the investment of the SNSB. The cost of the project is indeed very modest (thanks in large part to the instrument being a replica of ASPERA-3) in relation to the overall scientific productivity, insofar as the number of quality publications and the overall scientific impact of these publications on the field.

The group has done a good job contributing to the public outreach and impact of the ASPERA-4 project and the VEX mission. The group's outreach activities included several public lectures, press releases, and media events.

C.3.6 Fields – MMS: IRF, Uppsala

The reviewers find themselves moderately well to very well qualified to evaluate the Fields instrument and the IRF, Uppsala participation.

The scientific output from this group directly concerning the Fields instrument is limited, due to the recent launch. Related output from the Cluster project is of very high quality. The science from the actual MMS mission is not yet delivered, due to the recent launch, but the Field instrument works as intended during commissioning.

The group is extremely well positioned in the international scientific community, and is arguably one of the most successful research groups in magnetospheric physics, by virtue of its numerous, highly important scientific contributions in the Cluster and other space missions in the past 3-4 decades.

The group's position is clearly reflected by its scientific footprint all over the Solar System, including various planetary missions, but also the terrestrial ESA Swarm, Cluster and NASA MMS missions. The group has enhanced its position over the lifetime of the Fields project to date.

So far, the Fields participation has contributed moderately to the current position of the group, although it does enhance the group's presence in the international community, by the contribution to the successful hardware delivery.

Although it is too early to make conclusive assessments, the expected scientific output of the Fields project will likely contribute to the advancement of the scientific frontier, as MMS will provide the first opportunity to study regions of magnetic reconnection at sufficient spatial-temporal resolution.

The expected scientific output of the project will likely be very much commensurate with the investment of the SNSB, considering the successful performance of the instrument in its commissioning phase to date, and its potential to deliver high-quality scientific in the physics of magnetic reconnection. The investment is relatively low for promising results in the near future.

The group's outreach activities have so far consisted primarily of media interviews at the time of the MMS launch, which is balanced with respect to the group's involvement and the stage of the project.

C.3.7 Fields – MMS: KTH

The reviewers find themselves moderately well to very well qualified to evaluate the Fields instrument and the KTH participation.

The scientific output from this group directly concerning the Fields instrument is limited, due to the recent launch. Related output from the Cluster project is of very high quality. The science from the actual MMS mission is not yet delivered, due to the recent launch, but the Field instrument works as intended during commissioning.

The group is very well positioned in the international scientific community, by virtue of its many important scientific contributions in the auroral electric field and dynamics over the years, and its strong reputation and track record in space-borne electric field measurements. This position is being maintained over the lifetime of the Fields project to date, or possibly growing in the past few years due to the group's recent Cluster-related scientific contributions in auroral acceleration.

The Fields project has contributed to enhancing the group's current position in the international scientific community, by virtue of the group's successful delivery on its hardware responsibility – and the performance capability of the hardware up to this point of the mission commissioning phase. The group's position may grow stronger yet with the expected science return from the instrument.

Although it is too early to make conclusive assessments, the expected scientific output of the Fields project will likely contribute to the advancement of the scientific frontier, as MMS will provide the first opportunity to study regions of magnetic reconnection at sufficient spatial-temporal resolution.

The expected scientific output of the project will likely be very much commensurate with the investment of the SNSB, considering the successful performance of the instrument in its commissioning phase to date, and its potential to deliver high-quality scientific in the physics of magnetic reconnection. The results appears to be worth the investment, even if it is high.

The group's outreach activities have so far been limited to public lectures, blogs and news mainly at the launch, which is balanced with respect to the stage of the project.

C.3.8 ENA – BebiColombo: IRF, Kiruna

The reviewers find themselves well qualified to evaluate the ENA instrument and the IRF, Kiruna group, although there is a challenge to evaluate the output of the project before launch.

The preliminary findings, from e.g. the Chandrayaan project, are of high to very high scientific quality.

From the overall positioning of the IRF, Kiruna group in this and other international science missions, it is clear that the group is very well regarded in the scientific community, a position that have been further strengthened during the participation to the Bepi-Colombo mission. The ENA project contributed significantly to maintaining this position, although the main scientific results are expected in the future.

The expected scientific output is promising to advance the scientific frontier very much, partly judging from demonstrated performances and an excellent opportunity to address well-understood scientific objectives, but it is too early to reach a conclusive assessment.

With the same reservation for an early assessment, the SNSB investment in the instrument is commensurate to the expected scientific output, especially noting the preliminary results from development and the Chandrayaan mission.

The research group has contributed moderately to the public impact and awareness of the instrument project and the mission, which is a well-struck balance in the development phase.

C.3.9 MIPA – BebiColombo: IRF, Kiruna

The reviewers find themselves well qualified to evaluate the MIPA instrument and the IRF, Kiruna group, although it is difficult to evaluate the output of the project before launch, and separately from the ENA instrument.

The preliminary findings are of very high scientific quality, especially given the launch of the mission is yet two years away.

From the overall positioning of the IRF, Kiruna group in this and other international science missions, it is clear that the group is very well regarded in the scientific community, a position that have been further strengthened during the participation to the Bepi-Colombo mission. The MIPA project has limited contribution to maintaining this position, although this assessment is uncertain, as the scientific results and impact are expected in the future.

The SERENA suit, including MIPA, will provide an unprecedented opportunity for the international scientific community to study the complex particle environment of

Mercury. The scientific output of the MIPA project is therefore very likely to significantly advance the international scientific frontier, but it is too early to reach a conclusive assessment.

With the same reservation for an early assessment, the SNSB investment in the instrument is very much commensurate to the expected scientific output.

The research group has contributed moderately to the public impact and awareness of the instrument project and the mission, which is a well-struck balance in the development phase.

C.3.10 Mefisto – BebiColombo: IRF, Uppsala

The reviewers find themselves moderately well qualified to evaluate the Mefisto instrument and the IRF, Uppsala participation, although it is difficult to evaluate the output of the project before launch.

The science output from IRF Uppsala is limited so far, mainly since the mission is not yet launched.

The group is very well regarded by the international scientific community for its proven expertise in plasma probe measurements and its significant scientific and instrument contributions in several recent and current missions. During the development of the Mefisto instrument, the group's position has strengthened further, mainly from participation to other missions than the yet to be launched BepiColombo. The participation to Mefisto has contributed only moderately to the position.

The Mefisto instrument is expected to contribute in a good manner to the scientific frontier, given the capabilities of the instrument and the rare opportunity to conduct measurements in the Mercury environment. However, it is difficult to assess before launch.

With the same reservation for an early assessment, the small SNSB investment in the instrument at the IRF Uppsala is commensurate to the expected scientific output.

IRF Uppsala has not had any outreach activities connected specifically to Mefisto, but references Mefisto in general outreach on planetary science.

C.3.11 Mefisto – BebiColombo: KTH

The reviewers find themselves moderately well qualified to evaluate the Mefisto instrument and the KTH participation, although it is difficult to evaluate the output of the project before launch.

The scientific output from the KTH group is of moderately high quality, especially given the early pre-launch stage of the project.

The KTH group is well regarded by the international scientific community, and its position has not changed significantly during the Mefisto project. However, the participation to the Mefisto project is deemed to have contributed moderately to the current position of the group.

The group's expected scientific output of Mefisto will likely contribute greatly to the scientific frontier, although it is difficult to assess at this early stage. The group's track record with this kind of measurement and the opportunity to tackle a large number of scientific questions at Mercury strengthens the case.

With the same reservation for an early assessment, the SNSB investment in the instrument is very much commensurate to the expected scientific output.

The outreach so far is moderate, limited to websites, which is quite normal at this stage of the project.

C.4 Review questions

The following questions were used to guide the input of the peers to the summary report:

- To what extent do you consider yourself well qualified to evaluate the instrument and the group at hand?
- To what extent is the output from the group of high scientific quality (judged from the selected publications and the full list of publications)?
- To what extent is the research group well positioned in (highly esteemed by) the international scientific community? If possible, please also comment on your assessment of the evolution of this position over the lifetime of the instrument project.
- To what extent has the instrument project contributed to the current position of the research group in the international scientific community?
- To what extent does the research group's scientific output of the instrument project (or the expected scientific output, for instruments not yet in operation) contribute to the advancement the international scientific frontier?
- To what extent is the scientific output of the instrument project (or the expected scientific output, for instruments not yet in operation) commensurate with the investment of the Swedish National Space Board?
- To what extent has the research group contributed to the public impact and awareness of the instrument project and the mission (based on the group's public-outreach activities)?

Faugert & Co Utvärdering AB
Skeppargatan 27, 1 tr
114 52 Stockholm
Sweden
T +46 8 55 11 81 11
E tomas.astrom@faugert.se
www.faugert.se
www.technopolis-group.com