



Samhällets beroende av rymdinfrastruktur

En översikt och analys av konsekvenserna
för utvecklingen av det civila försvaret

Beatrice Reichel och Jenny Ingemarsdotter

Beatrice Reichel och Jenny Ingemarsdotter

Samhällets beroende av rymdinfrastruktur

En översikt och analys av konsekvenserna för utvecklingen av
det civila försvaret

Titel	Samhällets beroende av rymdinfrastruktur – En översikt och analys av konsekvenserna för utvecklingen av det civila försvaret
Title	Society's dependence on space infrastructure – An overview and analysis of the consequences for the development of Sweden's civil defence
Rapportnr	FOI-R--5368--SE
Månad	Januari
Utgivningsår	2023
Antal sidor	97
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare	Försvarsdepartementet
Forskningsområde	Krisberedskap och civilt försvar
FoT-område	Inget FoT-område
Projektnr	A122185
Godkänd av	Malek Finn Khan
Ansvarig avdelning	Försvarsanalys

Bild: Fredrik Sandberg/TT

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Samhället har gradvis gjort sig allt mer beroende av de tjänster som levereras av satelliter. Satelliter hjälper oss exempelvis att kommunicera, navigera, övervaka jordens yta, och de ger oss tillgång till tillförlitliga väderprognoser. Beroendena finns både inom militär och civil verksamhet och det är dessutom svårt att entydigt skilja på militär och civil rymdinfrastruktur.

Ett bortfall av rymdtjänster skulle potentiellt kunna orsaka allvarliga samhällsstörningar samt en nedsatt totalförsvarsförmåga. För att uppnå ett av de nu gällande målen för det civila försvaret – att säkerställa samhällets funktionalitet – är det därför viktigt att det finns en bred förståelse för hur samhällets beroende av rymdinfrastruktur ser ut. En effektiv hantering av riskerna förutsätter medvetenhet och kunskap hos berörda aktörer.

I den här rapporten ges en översiktlig bild av samhällets beroenden av rymdinfrastruktur. Det går att finna exempel på rymdberoenden inom samtliga tio beredskapssektorer i det civila försvaret, och det är sannolikt att beroendena kommer att öka framöver. Samhällets beroende av rymdinfrastruktur kan ses som en komplex risk, som behöver hanteras genom riktade insatser.

Nyckelord: rymdberoende, rymdinfrastruktur, beroendeanalys, civilt försvar, dubbla användningsområden

Summary

Space services are gradually becoming integral to the functioning of society. Satellites help us communicate, navigate, monitor the Earth's surface and predict the weather to a high degree of accuracy, to name a few examples. Space services dependencies exist within both military and civilian organisations and it is hard to create meaningful distinctions between military and civilian forms of space infrastructure.

A loss of space services could potentially cause widespread social disruption and reduce Sweden's total defence capability. One of the goals for Sweden's civil defence – as expressed in the Total Defence Bill for 2021-25 – is to safeguard the most important societal functions, which is why it is important that stakeholders throughout Swedish society have a shared understanding of the ways in which they depend on space services. Awareness is a prerequisite for effective management of the risks.

This report provides an overview of society's dependence on space services, offering examples of space services dependencies within each one of Sweden's ten civil defence sectors. It is likely that society's reliance on space services will increase in the future. Society's dependence on space services can be seen as a complex risk, the management of which requires targeted preparedness-raising measures.

Keywords: space services, space infrastructure, dependence, civil defence, Total Defence, dual use

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Syfte och mål	9
1.2	Avgränsningar.....	10
2	Analytiskt ramverk.....	11
2.1	Centrala begrepp.....	11
2.2	Beroende	14
2.3	Metoder för beroendeanalys	15
2.4	Tidigare studier av beroenden av rymdinfrastruktur	16
3	Studiens genomförande.....	18
3.1	Informationsinsamling.....	18
3.2	Analys	21
4	Hur rymdberoendena uppstår	22
4.1	Satelliternas funktioner	22
4.2	Varför beroendena ökar.....	23
5	Hot mot rymdinfrastruktur	29
5.1	Antagonistiska hot	29
5.2	Icke-antagonistiska hot.....	34
6	Ansvar för hantering av risker med rymdberoenden i Sverige....	39
7	Samhällets beroenden av rymdinfrastruktur	43
7.1	Överblick av samhällets rymdberoenden	43
7.2	Dubbla användningsområden	71
7.3	Utvecklingen av rymdberoendena.....	76
8	Diskussion och slutsatser	78
8.1	Rymdberoendet är en komplex risk.....	78
8.2	Rymdberoendena behöver hanteras samlat.....	80
8.3	Bortfall av rymdtjänster kan påverka samhället som helhet	81
8.4	Stötdämpare bör nyttjas för att hantera rymdberoende	82
9	Rekommendationer	85
10	Referenser	87

Förord

Föreliggande rapport har tagits fram inom ramen för projektet Samhällets beredskap för kris och krig (SABEK) som finansieras av anslaget Säkerhets- och försvarspolitisk forskning och analys (SOFFA). Avsikten med denna rapport är att belysa samhällets beroende av rymdinfrastruktur och bidra till en diskussion om vad dessa beroenden innebär för utvecklingen av Sveriges totalförsvar.

Den här studien anlägger ett tvärvetenskapligt perspektiv för att studera samhällets beroenden av rymden. Vi som är författare till rapporten arbetar främst med utvecklingen av svensk krisberedskap och civilt försvar, och skulle inte titulera oss som rymdexperter. Därför är det inte att överdriva att säga att den här studien inte kunnat genomföras utan det omfattande stöd vi fått från våra kollegor på Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI). Det handlar både om stöd i form av expertkunskap inom olika tekniska och tematiska områden, och det stöd som granskare, administratörer och bibliotekarier lämnat.

Det finns tre personer som varit med under hela projektprocessen och som gjort ett särskilt stort bidrag till studien. Vi vill därför rikta ett stort tack till Sandra Lindström, Jonatan Westman och Anna Maria Wårlind, alla tre verksamma vid FOI:s enhet för rymdsystem, för att ni varit så generösa med er tid och er kunskap.

Författarna

Stockholm, januari 2023

Förkortningar

AI	Artificiell intelligens
AIS	Automatic Identification System
AMS	Area Monitoring System
ASAT	Antisatellit
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EDA	European Defence Agency
ERTM	European Railway Traffic Management System
ESA	European Space Agency
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
FN	Förenta Nationerna
FOI	Totalförsvarets forskningsinstitut
GEO	Geostationary orbit
GIS	Geografiskt informationssystem
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
ISS	International Space Station
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NTP	Network Time Protocol
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PNT	Position, navigation och tidssynkronisering
PRS	Public Regulated Service
PTP	Precision Time Protocol
PTS	Post- och telestyrelsen
RAKEL	RAdioKommunikation för Effektiv Ledning
RF	Radiofrekvens
RSA	Risk- och sårbarhetsanalys
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
SOU	Statens offentliga utredningar
SSC	Swedish Space Corporation (Svenska rymdaktiebolaget)
SvK	Svenska kraftnät (Affärsverket svenska kraftnät)

1 Inledning

Samhället har sedan rymdålderns början under det sena 1950-talet blivit allt mer beroende av de tjänster som levereras av satelliter. Satelliter möjliggör globala kommunikationslösningar, hjälper oss att navigera i vardagen och ger oss tillgång till tillförlitliga väderprognoser och noggranna tidsangivelser, för att nämna några exempel. På senare år har kostnaderna för att bedriva rymdverksamhet minskat drastiskt och rymdtekniken har uppnått en ny mognadsgrad. Detta gör att det finns fler satelliter i rymden än någonsin. Medan rymdverksamhet började som en statlig och militär angelägenhet är det numera de kommersiella aktörerna som står för en stor del av utvecklingen. Från politiskt håll finns en uttalad vilja att se till att rymdverksamheten bidrar till samhällsnyttan. Dessa faktorer gör att samhällets beroenden av rymdinfrastruktur ökar.

Mot denna bakgrund aktualiseras frågan om vad som händer vid ett eventuellt bortfall av rymdtjänsterna. I ett tal i FN vid slutet av oktober 2022 meddelade en rysk diplomat att Ryssland betraktar amerikanska kommersiella satelliter som legitima mål för vedergällningsattacker.¹ Satelliter har utgjort en viktig källa till information om det ryska anfallskriget i Ukraina, och det är många gånger kommersiella satelliter som levererat bilder som avslöjar allt från truppförflyttningar till krigsbrott.² Det ryska uttalandet i FN visar att det finns en antagonistisk hotbild mot rymdinfrastrukturen och att ett bortfall av rymdtjänster inte kan uteslutas.³ Samhällets beroenden av rymden är därför en fråga för totalförsvaret.⁴

Utöver Rysslands uttalade hot finns ett flertal andra hot mot rymdinfrastruktur. Satelliter och de marksystem som hör till dessa kan utsättas för cyberangrepp, störas ut eller vilseledas. Själva satelliterna är också sårbara för rymdväder.⁵ Till detta kan läggas den ökande rymdskrotsproblematiken, som på sikt kan äventyra vår användning av jordens omloppsbanor. Det är därför mycket angeläget att förstå vad de möjliga konsekvenserna skulle vara om dessa hot förverkligades, särskilt i stor skala.

Utmaningen är att det är svårt att bedöma konsekvenserna av ett bortfall av rymdtjänsterna. Även om vi vet att det finns ett utbrett rymdberoende i samhället så

¹ Majlard 2022.

² Alexandersson & TT 2022.

³ Det finns flera andra faktorer som visar på att det finns en antagonistisk hotbild mot rymdinfrastruktur, för mer om detta se kapitel 5.1.

⁴ Enligt lag (SFS 1992:1403) om totalförsvaret och höjd beredskap är totalförsvaret ”verksamhet som behövs för att förbereda Sverige för krig.” Eftersom det finns en antagonistisk hotbild mot rymdinfrastrukturen är det alltså angeläget att utforska hur samhället kan påverkas av ett bortfall av rymdtjänster i en krigstida kontext.

⁵ Som Lindström & Waldenvik (2004, s. 3) formulerat det används termen rymdväder för att beskriva ”förhållanden i solen, solvinden, magnetosfären, jonosfären och termosfären (regioner mellan solen och jorden) som kan påverka prestanda och tillförlitlighet hos rymdbaserade och markbaserade tekniska system samt kunna påverka liv och hälsa hos människor.”

vet vi inte exakt hur det ser ut. Komponenter som inhämtar signaler från satelliter kan med lätthet integreras i olika tekniska system till en liten kostnad. Det innebär att ett tekniskt system kan vara beroende av data som kommer från satelliter för att fungera, utan att det är helt uppenbart för systemägaren. Dessutom förädlas rymddata numera i flera steg, och säljs på kommersiella marknader där det återigen blir svårt för slutanvändaren att förstå att datan kan härledas till en satellit. Kunskapen om rymdverksamhet och sättet på vilket den möjliggör olika samhällsviktiga funktioner har i tidigare studier konstaterats vara låg.⁶ Detta försvårar för diskussioner om hur samhällets beroenden av rymden bör hanteras.

Under 2022 har Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) därför genomfört en studie i syfte att ta fram en övergripande bild av samhällets beroenden av rymdinfrastruktur. Studien har även undersökt på vilka sätt rymdinfrastruktur kan nyttjas för dubbla användningsområden avseende civila och militära tillämpningar (s.k. ”dual-use”)⁷ och hur rymdberoendena utvecklas. I denna rapport redovisas studiens resultat. Studien har genomförts inom ramen för anslaget Säkerhets- och försvarspolitisk forskning och analys (SOFFA), på uppdrag av Regeringskansliet. Den bör ses som ett första bidrag till ökad kunskap om samhällets beroenden av rymden, för att underlätta en diskussion mellan berörda aktörer om hur frågan fortsatt bör hanteras.

1.1 Syfte och mål

Syftet med den här studien är att öka förståelsen för samhällets beroenden av rymdinfrastruktur, och på så vis skapa förutsättningar för att riskerna associerade med dessa kan hanteras. Denna kunskapsuppbyggnad kan betraktas som ett led i att skapa totalförsvarsförmåga, då det finns en antagonistisk hotbild mot rymdinfrastrukturen.

Den här studien har genomförts på initiativ av Regeringskansliet. Som uppdragsgivare har Regeringskansliet angivit en inriktning för studien. Utifrån denna inriktning har tre delmål formulerats. Således ska den här studien:

1. Ge en övergripande bild av hur samhällets beroende av rymdinfrastruktur ser ut.
2. Beskriva på vilket sätt rymdinfrastruktur kan nyttjas för dubbla användningsområden (s.k. ”dual-use”).

⁶ Lindström & Hallgren 2021.

⁷ Produkter med dubbla användningsområden definieras enligt EU som: ”produkter, inbegripet programvara och teknik, som kan användas för både civila och militära ändamål, och inbegriper produkter som kan användas för utformning, utveckling, produktion eller användning av kärnvapen, kemiska vapen eller biologiska vapen eller bärare av dessa, inbegripet alla varor som kan användas både för icke-explosiva ändamål och för att på något sätt bidra vid tillverkning av kärnvapen eller andra kärnladdningar.” Se artikel 2 i Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/821 och kapitel 7.2 för mer information.

3. Beskriva i vilken riktning samhällets beroende av rymdinfrastruktur utvecklas.

I den här rapporten redovisas studiens resultat. Rapporten riktar sig till aktörer inom hela det svenska beredskapssystemet. Det innebär att målgruppen är bred och heterogen, och består bland annat av myndighetshandläggare, näringslivs-aktörer, politiska makthavare och enskilda medborgare. Avsikten är att rapporten ska utgöra en grund för diskussion mellan dessa aktörer, varför det läggs stort fokus på att innehållet i rapporten ska vara lättillgängligt för läsare som saknar förkunskaper om rymdverksamhet. Rapporten har alltså även ett pedagogiskt syfte.

1.2 Avgränsningar

Det är det civila försvaret som utgör det primära studieobjektet i denna studie. I viss utsträckning berörs även det militära försvarets beroenden av rymdinfrastruktur, men då främst i relation till teknikens dubbla användningsområden. Anledningen till detta är att studien är tänkt att bidra till kunskapsuppbyggnaden i totalförsvaret. Andra tolkningar av vad som utgör "samhället" är möjliga, och med andra tolkningsramar hade resultaten kunnat bli annorlunda. Här är det dock beredskapsperspektivet som står i fokus.

Studien har ett geografiskt fokus på Sverige. Med detta menas att vi primärt har undersökt hur svenska verksamheter gjort sig beroende av satelliter och de tjänster som kan härledas till satelliter. Rymden är dock en global resursdomän, och därför är Sveriges beroenden av denna domän gränsöverskridande. De satelliter som skapar samhällsnytta i Sverige kan också skapa samhällsnytta på andra sidan jordklotet, och ett bortfall av en rymdtjänst kan simultant påverka Sverige, Sveriges närområde, och länder i andra världsdelar. Sverige kan även påverkas indirekt av ett bortfall av en rymdtjänst, eftersom landet är en del av en integrerad global ekonomi. Av den anledningen har geografi inte utgjort någon skarp avgränsning, utan mer varit en parameter för att vägleda inhämtningen av empiriskt material.

Den här studien bygger helt på öppna källor. Detta har utgjort en avgränsning för att säkerställa att studiens resultat ska kunna göras fritt tillgängliga.

2 Analytiskt ramverk

Det krävs en tvärvetenskaplig ansats för att öka kunskapen om samhällets beroenden av rymden. Frågan rymmer såväl säkerhetspolitiska, tekniska och militära som socio-ekonomiska och historiska dimensioner. Eftersom studien riktar sig till en bred målgrupp, i förhoppningen att underlätta för en vetenskapligt grundad diskussion om rymdberoenden, är det viktigt att det finns en gemensam förståelse för vissa centrala begrepp och analytiska utgångspunkter. I detta avsnitt ges därför en översiktlig genomgång av några av de begrepp som används i rapporten, inklusive en redogörelse för hur termen ”beroende” kan tolkas. Detta följs av en beskrivning av hur vi valt att genomföra beroendeanalysen, och en kort genomgång av tidigare studier på området.

2.1 Centrala begrepp

Rymdverksamhet kan avse såväl rymdinfrastruktur som rymdtjänster och rymddata. Nedan återges några vanligt förekommande beskrivningar av de mest centrala begreppen inom området, även om det i stort sett saknas formella definitioner.

2.1.1 Uppströms och nedströms rymdverksamhet

OECD:s handbok för mätning och jämförelser av rymdverksamhet delar in rymdekonomin i tre segment, enligt följande (i översättning):⁸

- *Uppströms verksamhet*: Den vetenskapliga och tekniska basen för rymdverksamhet, till exempel forskning och utveckling, tillverkning och uppskjutning.
- *Nedströms verksamhet*: Produkter och tjänster som är direkt beroende av satellitdata för sin verksamhet.
- *Aktiviteter som är härledda från rymdverksamhet*: Sådana aktiviteter som inte är direkt beroende av rymdverksamhet men som är härledda från den, t.ex. tekniköverföringar från rymdindustrin till andra sektorer, såsom biltillverkning.

EU:s rymdprogramsförordning definierar på motsvarande sätt rymdvärdekedjan som uppdelad i uppströms och nedströms verksamhet.⁹ Med uppströms verksamhet avses ”verksamhet som leder till ett operativt rymdsystem, inbegripet ut-

⁸ OECD 2022, s. 30.

⁹ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/696 av den 28 april 2021 om inrättande av unionens rymdprogram och Europeiska unionens rymdprogrambyrå (se EU CELEX_32021R0696_SV_TXT).

veckling, tillverkning och uppskjutning samt driften av ett sådant system.” Med nedströms verksamhet avses ”tillhandahållandet av rymdrelaterade tjänster och produkter till användarna.”¹⁰

Exakt vad som räknas som uppströms eller nedströms är inte alltid tydligt när det gäller exempelvis olika typer av driftsrelaterade tjänster. OECD:s handbok konstaterar att ett växande antal organisationer har börjat använda konceptet ”mid-stream” för att beteckna rymdaktiviteter som utgör länken mellan satelliter och markinfrastruktur. OECD rekommenderar att sådana aktiviteter benämns nedströms.¹¹ Än svårare kan det vara att ringa in vilka aktiviteter som är härledda från rymdverksamhet (OECD:s tredje kategori). I Norges rymdstrategi tolkas denna kategori som produkter och tjänster som använder satellitdata som en värdeökande komponent.¹² Som exempel tar man dels upp olika slags tillämpningar (t.ex. uträkning av vattningsbehov i jordbruket eller koppling av satellitdata till andra datakällor för att utveckla smarta städer eller autonoma transportsystem), dels teknologiöverföring från rymdsektorn till annan högteknologisk utveckling inom t.ex. materialteknik, sensorteknik, informationsteknik och hälsoteknologi.¹³

Sveriges rymdstrategi konstaterar att svensk rymdindustri idag består ”främst av det som brukar betecknas som uppströms verksamhet, dvs. utveckling och tillverkning av raketer, raketdelar, satelliter och avancerade rymdtjänster.”¹⁴ Rymdstrategin noterar också en ökning av verksamheter som exploaterar de möjligheter som rymdsystemen ger nedströms, ”dvs. system och tjänster baserade på de kommunikationsmöjligheter och de data som fås från infrastruktur som placerats i rymden.”¹⁵

2.1.2 Rymdinfrastruktur

Begreppet rymdinfrastruktur brukar vanligtvis åsyfta den fysiska infrastrukturen i form av satelliter men även markstationer.¹⁶ Ägandet av rymdinfrastruktur kan dock vara komplext och omfatta såväl själva satelliterna som bild och data-rättigheter.¹⁷

Rymdinfrastruktur jämförs ofta med infrastruktur i överförd betydelse av att utgöra en grundläggande samhällsstruktur. I den norska rymdstrategin konstateras att ”[u]nder de senaste 60 åren har satelliter gått från att vara experimentell

¹⁰ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/696.

¹¹ OECD 2022, s. 31.

¹² Meld. St. 10 (2019-2020), s. 18.

¹³ Meld. St. 10 (2019-2020).

¹⁴ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 16.

¹⁵ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 17.

¹⁶ Som t.ex. Riksrevisionen (2013, s. 9) har formulerat det omfattas rymdinfrastrukturen av ”såväl satelliterna i rymden som de markstationer som tar hand om och kanaliserar kommunikationen till och från satelliter till användare på jorden.”

¹⁷ Riksrevisionen 2013.

teknologi till att bli en grundläggande samhällsinfrastruktur att jämföra med vägar, kraftförsörjning och bredband.”¹⁸ Svenska Rymdstyrelsen beskriver på samma tema hur ”[s]atelliter och de sensorer och den optik som skickas upp med dessa och som hjälper oss övervaka hav, skog, mark, städer och vattendrag är kostsamma men viktiga för samhället på samma sätt som kablar i marken, mobilmaster, vägar eller tågräls” och konstaterar även att ”[s]atelliter är en integrerad del av vår moderna infrastruktur.”¹⁹

I den svenska rymdstrategin används begreppet rymdsystem (och inte rymdinfrastruktur) som ett samlingsbegrepp ”för instrument, utrustningar och satelliter som placeras i rymden för att utföra tjänster och leverera rymddata till användare på jorden.”²⁰ I begreppet rymdsystem inkluderas i detta fall också den markbaserade infrastruktur som används för att styra och kommunicera med satelliter.²¹

2.1.3 Rymdtjänster

Enligt rymdlagsutredningen (SOU 2021:91) kan rymdtjänster avse olika slags samhällsviktiga tjänster såsom telekommunikation, navigering, väderleksprognoser, jordobservation, finansiella transaktioner, informationsinhämtning och miljö- och klimatövervakning.²²

2.1.4 Rymddata

Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91) utgår från att rymddata avser ”information som mäts eller på annat sätt genereras på satelliter och annan infrastruktur i rymden”.²³ Välkända tillämpningar av rymddata är väderprognoser och satellitnavigering. Mobiltelefoner kan exempelvis fånga upp navigationssignaler från det amerikanska GPS-systemet, det ryska Glonass eller det europeiska Galileo för att visa på skärmen var vi befinner oss. Andra exempel på tillämpning av rymddata är lantbrukets dosering av gödning och bekämpningsmedel och effektiviseringen av isbrytningen i Östersjön. Rymddata som inbegriper jordobservation är också avgörande för att övervaka parametrar som handlar om miljö- och klimatförändringar.

Genom att kombinera rymddata med andra källor och metoder, som t.ex. AI och bildanalys, skapas också nya tillämpningar inom helt nya användningsområden.²⁴

¹⁸ Meld. St. 10 (2019 – 2020), s. 18.

¹⁹ Rymdstyrelsen 2013, s.14. I en annan rapport skriver Rymdstyrelsen (2015) att ”Satellitnavigering har förändrat vår vardag i grunden och är en viktig del av samhällets infrastruktur.”

²⁰ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 79.

²¹ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91).

²² Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 99.

²³ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 63. Man noterar också att tidigare refererades det ibland till satellitbilder men då tillämpningarna idag är så mångfasetterade kan ordet ”bild” bli missvisande.

²⁴ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 9.

2.1.5 Produkter med dubbla användningsområden

Enligt lagen (2000:1064) om kontroll av produkter med dubbla användningsområden definieras sådana produkter som ”produkter, inbegripet programvara och teknik, som kan användas för både civila och militära ändamål, och inbegriper produkter som kan användas för utformning, utveckling, produktion eller användning av kärnvapen, kemiska vapen eller biologiska vapen eller bärare av dessa, inbegripet alla varor som kan användas både för icke-explosiva ändamål och för att på något sätt bidra vid tillverkning av kärnvapen eller andra kärnladdningar”.

I EU-förordning 2021/821 finns många exempel på rymdinfrastruktur som kan betraktas som produkter med dubbla användningsområden. För en fördjupning av frågan om dubbel användning i en rymdkontext, se kapitel 7.2.

2.2 Beroende

Många verksamheter i samhället är på något sätt beroende av rymdverksamhet. Dessa beroenden kan vara av olika slag: direkta eller indirekta, tekniska eller strategiska (exempelvis avseende ägandestrukturer) och så vidare. Beroendet kan också vara mer eller mindre känt. Alla beroenden är heller inte av samhällskritisk art. Förlust av precision kan visserligen leda till minskad effektivitet men behöver inte leda till en samhällskris. I studien *Faller en – faller då alla?* definierar MSB ett *kritiskt beroende* som ”avgörande för att samhällsviktiga verksamheter ska kunna fungera.”²⁵ Man ställer också upp som villkor för definitionen att funktionen hos den beroende verksamheten ”snabbt och varaktigt” skulle försämrats (vid ett bortfall av den levererande verksamheten) och att den resulterande krisen skulle aktivera krishanteringssystemet.²⁶

I föreliggande studie har vi använt en mer öppen ansats; beroenden antas kunna vara riskfyllda eller problematiska även om de inte omedelbart aktiverar krisberedskapssystemet. Det kan som ovan nämnts handla om strategiska ägarberoenden eller om att logistik- eller produktionssystem har gjort sig beroende av rymdtjänster i olika grad. I vissa fall kan naturligtvis beroendet också vara av en mer direkt natur där ett avbrott skulle få omedelbara konsekvenser för samhället eller verksamheten i fråga.

Det är också svårt att avgöra när ”användning” glider över till att utgöra ett ”beroende” inom en verksamhet, ett system eller samhället i stort. Eftersom vi i den här studien primärt undersökt icke-kritiska beroenden skulle man kunna se det som att ”beroende” och ”användning” blir liktydigt. Vi försöker i föreliggande rapport att använda oss av ”beroende” när det finns stark anledning att tro att användningen är just riskfylld eller problematisk, men det bör noteras att detta i

²⁵ MSB 2009, s. 14.

²⁶ MSB 2009.

viss mån är en fråga om en subjektiv bedömning. Att det är en fråga om bedömning blir tydligt inte minst när man skiftar mellan analysnivåer: en enskild verksamhets användning av ett system kanske inte ter sig problematiskt, men om detta system används väldigt brett i samhället kan man i vissa fall argumentera för att det på samhällsnivå finns ett beroende. Någon skarp gränsdragning mellan användning och beroende är således inte alltid möjlig.

2.3 Metoder för beroendeanalys

Det finns ännu inga metoder som är specifikt anpassade för att identifiera rymdrelaterade beroenden. I den här studien har vi hämtat inspiration från ett par olika källor. MSBs rapport *Faller en – faller då alla?* uppmärksammar att det inte enbart räcker med att identifiera var i ett system som det finns beroenden. För att beroendeanalysen ska kunna bli ett insiktsfullt kunskapsunderlag bör hänsyn också tas till faktorer som påverkar hur allvarligt beroendet är. Förekomsten av ”stötdämpare” är en sådan faktor, och i rapporten identifieras tre kategorier av stötdämpare: redundans, substitut och adaptivitet. Om en verksamhet har tillräckligt mycket av en resurs (redundans) alternativt kan ersätta en resurs med en annan (substitut) eller kan anpassa verksamheten vid ett bortfall (adaptivitet) så är ett beroende mindre allvarligt än om dessa stötdämpare inte finns på plats.²⁷

Rapporten uppmärksammar också att en verksamhets uthållighet påverkar huruvida ett beroende kan bedömas vara kritiskt eller inte. Den som genomför en beroendeanalys bör alltså undersöka hur lång tid det tar innan konsekvenser av ett bortfall blir kännbara. Den här studien har därför försökt identifiera vad som skulle kunna utgöra stötdämpare för rymdrelaterade beroenden, och lagt medvetet fokus på frågan om verksamheters uthållighet vid bortfall av rymdtjänster.²⁸

För att öka förståelsen för beroenden i ett system är det även viktigt att spridningskedjor identifieras.²⁹ Även detta är något vi tagit hänsyn till i utformningen av studien.

En fråga som lyftes tidigt i studiens utformande var den om rymdberoendenas komplexitet och utbredning. FOI har tidigare genomfört en studie på uppdrag av MSB, som handlade om faktorer som är viktiga att beakta vid kartläggningen av beroenden till industriella information- och styrsystem (ICS), som bidragit till viktiga insikter om hur man kan resonera kring detta problem. Författarna till den studien noterade att en komplikation med att göra en analys av ICS-beroenden är att de finns ”överallt” i olika verksamheter, och precis som med rymdberoende system är industriella informations- och styrsystem väldigt komplexa. Det krävs

²⁷ MSB 2009, s. 15.

²⁸ MSB 2009, s. 15.

²⁹ Rinaldi et al. 2001.

därför en mycket god förståelse för hur de tekniska systemen fungerar på detaljnivå för att få en helhetsbild av hur de hänger ihop. Denna insikt har väglett urvalet av intervjudeltagare i studien, och vi har medvetet sökt efter personer med teknisk kompetens.

2.4 Tidigare studier av beroenden av rymdinfrastruktur

Vissa aspekter av samhällets beroenden av rymdinfrastruktur har belysts i tidigare studier. Detta gäller särskilt beroendet av korrekt tid och frekvens som har varit föremål för flertalet analyser och utredningar. På uppdrag av Näringsdepartementet genomfördes år 2006-07 en utredning om spårbar tid och frekvens som drog slutsatsen att Sverige bör minska sitt beroende av GNSS och andra störningskänsliga och icke-nationellt ägda radiobaserade system för synkronisering av tid och frekvens.³⁰ På senare tid har Post- och telestyrelsen (PTS), som har ett samlat ansvar inom området elektronisk kommunikation (inklusive uppgiften att verka för robusta elektroniska kommunikationer och minska risken för störningar), genomfört en behovsinventering av samhällsviktiga aktörers behov av korrekt tid. I slutrapporten *Förutsättningar för att tillgängliggöra det nationella systemet för spårbar tid och frekvens* redovisas resultatet av denna undersökning baserat på svar från Energimyndigheten, MSB, Transportstyrelsen, Läkemedelsverket, Säkerhetspolisen, Affärsverket Svenska kraftnät och samtliga länsstyrelser.³¹

Inom ramen för den nationella risk- och förmågebedömningen som MSB genomfört sedan 2012 har två scenarier analyserats med koppling till rymdberoenden, nämligen scenariot *Solstorm* respektive *Störningar i GNSS*.³² Scenarioanalyserna finns redovisade i rapporten *En sammanställning av riskområden och scenarioanalyser 2012 – 2015*, publicerad 2015. MSB har också särskilt studerat frågan om samhällets beroende av korrekt tids- och positionsangivelse, redovisat bland annat i rapporten *Vikten av var och när*, utgiven 2014.³³ I samarbete med FOI har MSB också genomfört en studie om framtida nationell användning av Galileo/PRS.³⁴

FOI (och tidigare FOA) har genomfört ett flertal studier om rymden med fokus bland annat på rymdens växande försvars- och säkerhetspolitiska betydelse, trender inom teknisk utveckling samt omvärldsanalyser och internationella utblickar. Nämnas kan särskilt rapporten *Omvärldsanalys Rymd 2020: Fokus försvar och*

³⁰ Utredningen om legal metrologi, tid och frekvens samt riksmätplatser 2007.

³¹ Olofsson 2021.

³² MSB 2015. Den nationella risk- och förmågebedömningen har genomförts även efter 2015, men med något annorlunda innehåll.

³³ MSB 2014.

³⁴ Alexandersson et al. 2018.

säkerhet, utgiven 2021, som ger en översikt av rymdområdets utveckling och belyser vikten av att Sverige beaktar rymdverksamhet ur såväl civila som militära aspekter.³⁵

Rymdstyrelsen har publicerat ett flertal rapporter som introducerar och förklarar olika användningsområden och utvecklingsmöjligheter som härstammar från rymdverksamhet.³⁶ Risker och sårbarheter med ökade rymdberoenden omnämns men utgör inte rapporternas huvudfokus.

Nämnas kan också att det i våra grannländer nyligen har tagits fram relevanta publikationer som berör samhällets beroenden av rymdinfrastruktur, inklusive den norska rymdstrategin³⁷ och en ny finsk studie om den ”sociala påverkan av rymdaktiviteter i Finland” som dock tyvärr inte finns översatt i sin helhet (huvudresultaten finns sammanfattade i form av en policy brief).³⁸

I den internationella akademiska forskningen slutligen finns en riklig mängd publikationer som behandlar hot, risker och sårbarheter kopplade till rymdverksamhet. Ett urval av relevanta artiklar har studerats inom ramen för denna studie men redovisas inte särskilt här.

³⁵ Lindström et al. 2021.

³⁶ Bland annat har Rymdstyrelsen publicerat rapporterna *Alltid uppkopplad* (2016), *Navigera i vardagen* (2015) och *Med blicken mot jorden* (2013).

³⁷ Meld. St. 10 (2019 – 2020).

³⁸ Piirainen et al. 2022.

3 Studiens genomförande

I detta kapitel redovisar vi hur studien har genomförts, i syfte att möjliggöra en diskussion om resultatens användbarhet och begränsningar. Den här studien ger endast en översiktlig bild av samhällets beroende av rymdinfrastruktur, och resultaten bör därför tolkas med viss försiktighet givet att det med den valda metoden inte går att identifiera de verkligt kritiska beroendena. Studiens resultat utgör dock en grund för fortsatt forskning och bedöms vara tillräckliga för att inleda en diskussion om Sveriges rymdberoenden ur ett sårbarhets- och beredskapsperspektiv.³⁹

3.1 Informationsinsamling

Studiens resultat baseras på information hämtad från tre olika typer av källor. För det första har information hämtats från skriftliga underlag såsom vetenskapliga artiklar, myndighetsrapporter och tidigare FOI-studier, för att få en första indikation på var i samhället det kan finnas rymdberoenden. Denna litteraturgenomgång har även varit nödvändig för att få kontextuell information om hur olika rymdbaserade system fungerar och vad de fyller för funktion inom olika samhällssektorer. I de skriftliga underlagen går även att finna redogörelser för konsekvenser av faktiska bortfall av rymdtjänster, vilket ökat förståelsen för hur hoten mot rymdinfrastruktur ser ut och hur de kan avvärjas.

För det andra har ett antal intervjuer genomförts med personer som har kunskap om rymdberoenden. Litteraturgenomgången har hjälpt till att identifiera personer som tidigare skrivit om rymdberoenden, särskilt ur ett svenskt perspektiv, och som kan antas besitta tillräckliga kunskaper för att resonera om studiens frågeställningar under intervju.

För det tredje grundar sig studien även på den expertkunskap som FOI-kollegor bidragit med. De FOI-kollegor som konsulterats i studien har haft kompetens inom rymddomänen, rymdväder, elektromagnetiska hot, navigationssystem och energisystem. Samtalen med FOI-kollegor har varit särskilt viktiga för att uppnå ett av studiens delmål – att beskriva rymdinfrastrukturens dubbla användningsområden – eftersom dessa kollegor har en unik inblick i de möjliga militära tillämpningarna av olika rymdsystem.

³⁹ Det examensarbete som Theodor de Sousa genomfört vid FOI under våren 2022 har varit av stort värde för att kunna utvärdera studiens metod. I examensarbetet görs en litteraturgenomgång och viktiga faktorer att beakta i ett potentiellt ramverk för beroendeanalyser av rymdtjänster identifieras. Examensarbetet utforskar även hur ett ramverk för beroendeanalys av rymdtjänster skulle kunna utformas. Arbetet belyser bland annat att det är viktigt att ta hänsyn till aktörers incitament att genomföra analyser av rymdberoenden, att expertutlåtanden inte alltid är helt neutrala, och att krav på säkerhetsskydd kan utgöra ett hinder i analysen.³⁹ Detta överensstämmer väl med de faktorer som vi identifierat vara möjliga källor till brister i studiens resultat.

Studiens tredje delmål – att beskriva i vilken riktning samhällets beroende av rymdinfrastruktur utvecklas – har besvarats med hjälp av information från samtliga tre informationskällor.

En faktor som påverkat urvalet av aktörer att kontakta för intervju var behovet av att inhämta perspektiv från flera olika samhällssektorer. Det finns flera olika sätt att kategorisera samhällssektorer på, och då studien påbörjades under våren 2022 så hade utredningen om civilt försvar redan lämnat ett förslag på en ny struktur för den civila beredskapen i Sverige bestående av tio beredskapssektorer.⁴⁰ Studien utgick därför från den föreslagna sektorsindelningen eftersom det bedömdes som sannolikt att den i alla fall i grova drag skulle komma att implementeras inom en snar framtid. Så har även blivit fallet; regeringen beslutade den 18 maj 2022 att tio beredskapssektorer skulle inrättas, och förändringarna trädde ikraft den 1 oktober 2022.⁴¹

Den nya strukturen för det civila försvaret har alltså utgjort en ram för hur informationsinsamlingen strukturerats: målet har varit att undersöka om det finns exempel på rymdberoenden i var och en av de tio beredskapssektorerna. Vid urvalet av intervjudeltagare har vi därför försökt få in perspektiv från personer verksamma vid beredskapsmyndigheter. Samtidigt har vi bedömt att dessa personer inte nödvändigtvis måste vara verksamma vid de beredskapsmyndigheter som tilldelats ett sektorsansvar, eftersom en annan myndighet ibland har haft ett tydligare ansvar för ett rymdberoende system. Som exempel valde vi att intervjua Lantmäteriet snarare än Skatteverket trots att det är Skatteverket som är ansvarig för sektorn Försörjning av grunddata, eftersom Lantmäteriet ansvarar för driften av det rymdberoende systemet Swepos. Detta behöver inte betyda att Skatteverket inte har rymdberoenden som borde identifieras, men givet att vi inte skulle kunna intervjua alla 60 beredskapsmyndigheter prioriterade vi ofta dem där vi bedömde att rymdberoendet var tydligare.

I vissa fall har vi bedömt att det varit nödvändigt att intervjua personer som inte är verksamma vid beredskapsmyndigheter, men som kan antas ha perspektiv av relevans för studiens frågeställningar. Ett tydligt exempel på detta är vårt val att intervjua två personer vid Rymdstyrelsen.

När vi försökt komma i kontakt med personer att intervjua har vi ibland efterfrågat en person som jobbar med ett visst tekniskt system (i de fall det utifrån litteraturstudien funnits anledning att tro att dessa kan ha ett rymdberoende), alternativt efterfrågat någon som jobbar med en viss funktion inom verksamheten (där det åter igen baserat på litteraturstudien funnits anledning att tro att det finns

⁴⁰ Utredning om civilt försvar (SOU 2021:25).

⁴¹ MSB 2022a.

rymdberoenden) eller någon som arbetar med beredskapsplanering mer generellt.⁴²

Frågeunderlaget till intervjuerna har varit anpassat efter varje person, eftersom dessa haft olika ansvarsområden i sina organisationer och således besuttit olika typer av kunskaper. Vi har varit tydliga med att vi önskat intervjua en viss person utifrån deras kunskaper om samhällets beroende av rymdinfrastruktur och att intervjudeltagarna gärna får lyfta teman de själva anser är viktiga att beakta i studien. Den information som inhämtats utgör således inte några formella myndighetsutlåtanden. Totalt har 19 intervjuer genomförts. Några aktörer har även inkommit med skriftliga underlag som svar på de frågor vi ställt.

De aktörer som vi har intervjuat presenteras i listan nedan. I parentes anges antalet intervjuer som vi gjort med respektive aktör, i de fall som vi har gjort flera intervjuer.

- Radionavigeringsnämnden (2)
- Havs- och vattenmyndigheten
- Rymdstyrelsen (2)
- Svenska kraftnät
- Post- och telestyrelsen (PTS)
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) (3)
- Statens jordbruksverk
- Sjöfartsverket
- SMHI
- Trafikverket
- Swedish Space Corporation
- RISE
- Lantmäteriet
- Sveriges Radio
- SOS Alarm

Skriftliga underlag har även inhämtas från följande aktörer:

- MSB
- PTS
- Kustbevakningen

⁴² Ibland har vi redan haft ett namn på en person vi önskat intervjua, utifrån tips som framkommit allt eftersom att informationsinsamlingen pågick. När vi inte på förhand vetat vem som är bäst lämpad att intervjua har vi lämnat öppet för att bli lotsad vidare i organisationen efter en initial kontakt med den första personen vi hänvisats till.

Som framgår av listan ovan finns inte alla beredskapssektors perspektiv representerade i studien. Utöver beredskapsmyndigheterna finns även många andra aktörer i det svenska samhället som kan ha information om rymdberoenden, men som inte hörts i studien. Därför finns det med all säkerhet fler rymdberoenden än de vi identifierat, och infallsvinklar på frågorna som den här rapporten inte kan fånga upp. Resultaten hade kunnat vara annorlunda om det varit andra aktörer som givits möjlighet att bidra med information. Givet att studiens första delmål varit att ge en övergripande (och inte heltäckande) bild av samhällets rymdberoenden har det dock från studiens början funnits en acceptans för det kan finnas vissa luckor i resultaten, och en tanke om att de utgör ett första steg mot att bygga förståelse för frågorna.

3.2 Analys

De exempel på rymdberoenden som framkommit under intervju eller vid litteraturrenövringen har strukturerats i en matris för att möjliggöra en analys på övergripande samhällsnivå. Vi skapade matrisen i en Excelfil och listade de tio föreslagna beredskapssektorerna på ena ledden, och satelliternas tre huvudsakliga användningsområden (kommunikation, PNT, jordobservation) på den andra. Excelfilen fylldes sedan på med exempel på rymdberoenden allt eftersom att studien genomfördes.

Detta innebär att en bild av samhällets rymdberoenden gradvis växte fram och kunde diskuteras med sakterter på FOI medan informationsinsamlingen pågick. Det var framför allt tre av FOI:s rymdexperter – Sandra Lindström, Jonatan Westman och Anna Maria Wårlind – som konsulterades återkommande. Dessa samtal hjälpte till att inrikta den fortsatta informationsinhämtningen i studien, exempelvis genom att identifiera områden av samhället som borde undersökas vidare. Ibland sades även saker under intervju som bedömdes vara viktigt att samla in mer information om, antingen för att styrka att något utgör ett rymdberoende eller för att kunna nansera den bild som framträtt. Under hösten 2022 genomfördes ett längre analysseminarium då det slutgiltiga resultatet diskuterades med de tre FOI-kollegor som vi konsulterat löpande i studien.

4 Hur rymdberoendena uppstår

För att ge läsaren en kontext att kunna relatera studiens resultat till ges här en kort beskrivning av satelliternas funktioner. Sedan beskrivs de drivkrafter som leder till att rymdberoendena ökar.

4.1 Satelliternas funktioner

En satellit är definitionsmässigt ett föremål som befinner sig i omloppsbana kring en planet. I den här studien används begreppet specifikt för att referera till de mänskligt tillverkade föremål som placerats i omloppsbana runt jorden. Satelliternas funktioner kan lite grovt delas in i tre kategorier, nämligen kommunikation, position, navigation och tidssynkronisering, och jordobservation.

För det första möjliggör satelliter och dess tillhörande markinfrastruktur olika typer av kommunikationstjänster. Det handlar om tv-sändningar, telefoni, internet eller överföring av annan data. Rent tekniskt fungerar det genom att signaler skickas mellan satelliterna och mottagare på jorden via olika radiofrekvenser (RF).⁴³

Det andra användningsområdet är position, navigering och tidssynkronisering (PNT). Satelliter är utrustade med mycket noggranna atomklockor och kan därför skicka ut tidsmärkta radiosignaler. Genom att fånga upp de tidsmärkta radiosignalerna från fyra satelliter kan en mottagare på jorden avgöra avståndet till var och en av satelliterna. Avståndet mäts genom att beräkna tidsskillnaden mellan den utskickade och mottagna radiosignalen. Med denna metod kan en person bestämma sin position i tre dimensioner. Dessutom är radiosignalen i sig en mycket noggrann källa till tid, och därför integreras ibland GNSS-mottagare i teknisk utrustning som kräver tillgång till en källa för tidssynkronisering.⁴⁴

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) är ett samlingsnamn för ett flertal olika system för satellitnavigation, som alla bygger på principen som beskrevs ovan. Det mest kända systemet är GPS (Global Positioning System) som utvecklades av den amerikanska militären under den senare hälften av 1900-talet, men numera finns även ryska (GLONASS), kinesiska (BeiDou), och europeiska (Galileo) satellitsystem som alla har global täckning.⁴⁵

Satelliternas tredje övergripande funktion är jordobservation. En jordobservationssatellit är utrustad med instrument för att avbilda och mäta fenomen på jordens yta. Instrumenten kan vara kameror för att generera flerfärgsbilder eller olika typer av radar och sensorer som samlar in data om geofysiska förhållanden

⁴³ Rymdstyrelsen 2016.

⁴⁴ Lindgren et al. 2016, s. 7-9.

⁴⁵ Lindström et al. 2021, s. 17.

på land, i hav och i atmosfären. Jordobservationssatelliterna skapar möjlighet till miljöövervakning, för att detektera förändring av både den naturliga och artificiellt skapade miljön och över tid. Exempelvis kan utbredningen av istäcken, skog och tätorter övervakas på distans. Ett annat stort tillämpningsområde är meteorologi och det är tack vare jordobservationssatelliter som samhället numera har tillgång till mycket goda väderprognoser. Vidare används den data som genereras av denna kategori av satelliter ofta i forskningssyfte, exempelvis för att övervaka klimatförändringar.⁴⁶

Militära tillämpningar av satellitteknologin återfinns i samtliga tre kategorier. En vanlig militär användning av satellitteknologi är kommunikation, GNSS används både civilt och militärt, och att bedriva spaning- och övervakning från rymden bidrar till militär förmåga. Det är i praktiken svårt att göra en uppdelning mellan civila och militära rymdsystem eftersom en och samma satellit kan användas av såväl civila som militära aktörer.⁴⁷ En bild tagen från rymden med en jordobservationssatellit kan exempelvis ha ett militärt underrättelsevärde, samtidigt som den har ett värde för civila användare som vill studera ett naturfenomen. För en djupare diskussion om rymdinfrastrukturens dubbla användningsområden, se avsnitt 7.2.

4.2 Varför beroendena ökar

Uppskjutningen av den första satelliten Sputnik år 1957 utgjorde startskottet på en spridningsprocess för rymdteknik, från det militära till de civila delarna av samhället. Sputniks jungfrufärd bäddade exempelvis för utvecklingen av global satellitnavigation i och med att amerikanska forskare upptäckte att de kunde bestämma den sovjetiska satellitens position med hjälp av den radiosignal som den skickade ut. Den insikten ledde fram till att de amerikanska forskarna insåg att de även kunde göra det omvända – bestämma var på jorden man befinner sig, givet kunskap om en satellits position i omloppsbana. Civil användning av satellitnavigering började dock först ta fart under slutet av 1980-talet, och det skulle dröja till år 2000 innan USA gav civila användare tillgång till GPS-signaler med tillräckligt god noggrannhet för att möjliggöra storskalig användning i samhället som helhet.⁴⁸

Det kan alltså finnas en viss fördröjning mellan att det sker ett militärtekniskt genombrott och att tekniken får bred spridning i den civila delen av samhället. Den här fördröjningen kan uppstå för att en aktör vill bibehålla sitt försprång vad gäller användningen av den nya tekniken, eller så kan det vara en naturlig följd av att det tar tid för andra aktörer att öka sin egen kompetens och förmåga att

⁴⁶ Rymdstyrelsen 2013.

⁴⁷ Lindström et al. 2021, s. 45.

⁴⁸ Wallischeck 2016, s. 3.

nyttja teknologin. Att teknik sprids från det militära till det civila är ett återkommande fenomen genom historien, och i forskningslitteraturen finns flera teorier om hur denna process går till.⁴⁹ Det som kan konstateras är att spridningen av rymdteknik följer många av de mönster som observerats tidigare.

Det finns mycket som tyder på att vi börjar nå kulmen på en omfattande spridningsprocess för rymdteknik.⁵⁰ Ett sådant tecken är att satelliter blivit allt enklare att tillverka. Idag byggs satelliter med beprövad teknik och de har fått allt mer specialiserade uppgifter. Det primära syftet med satellitkonstruktion är alltså inte längre att flytta fram forskningsfronten, utan att dra nytta av befintlig kunskap.⁵¹ Komponenter och gränssnitt för satelliter har standardiserats och serietillverkas numera. Det sänker kostnaderna för att tillverka satelliter och gör tekniken tillgänglig för en allt större grupp aktörer i samhället. Från att ha varit en teknologi som främst statsfinansierade aktörer kunnat använda sig av är det nu allt vanligare att kommersiella aktörer bygger och använder satelliter.⁵²

Tittar man på hur satellitteknik används på jorden så finns liknande tecken på den långt gångna teknikspridningen. Den första kommersiella GPS-mottagaren lanserades 1981, vägde närmare 27 kg, och kostade över hundra tusen dollar. Idag är GPS-mottagare endast några millimeter i storlek och kostar mindre än 100 dollar.⁵³ Detta gör det möjligt för i princip vem som helst att integrera en GPS-mottagare i annan teknisk utrustning. Om man bara räknar de GPS-mottagare som finns integrerade i smartphones rör det sig om minst 5 miljarder mottagare.⁵⁴

Samtidigt har förmågan att skjuta upp satelliter spridits till en allt större skara aktörer. Det finns idag elva länder med egen uppskjutningskapacitet (Ryssland, USA, Frankrike, Japan, Kina, Indien, Israel, Ukraina, Iran, Nordkorea och Sydkorea) och flera andra arbetar aktivt för att skaffa sig denna förmåga. I Europa har fler länder möjlighet att skjuta upp satelliter via rymdsamarbetet ESA, och fler europeiska uppskjutningsplatser projekteras, bland annat i Sverige.⁵⁵

Den kanske enskilt största förändringen är dock att det idag finns flertalet kommersiella aktörer med uppskjutningsförmåga. SpaceX är ett välkänt exempel på en sådan aktör, men även Rocket Lab, som skjuter upp raketer från Nya Zeeland,

⁴⁹ För två klassiska verk om spridningen av militär teknologi, se: Horowitz 2010 och Krause 1992. FOI har tidigare även studerat hur spridningen av rymdteknik går till och vad det innebär för Försvarsmakten och utvecklingen av svensk säkerhetspolitik, se: Andersson & Rydqvist 2009.

⁵⁰ Tecknen på att kulmen är nära eller nådd är att det finns en bred skara aktörer som har tillgången till tekniken och har förmåga att använda den. Detta innebär inte nödvändigtvis att mängden satelliter kommer stabiliseras.

⁵¹ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 64.

⁵² Lindström et al. 2021, s. 18.

⁵³ Wallischek 2016, s. 2-3.

⁵⁴ OECD 2019.

⁵⁵ Lindström et al. 2021, s. 36-37.

kan nämnas.⁵⁶ De här kommersiella aktörerna satsar framför allt på mindre bärraketer för att få upp små satelliter i låg omloppsbana. I och med att aktörerna med uppskjutningsförmåga nu är fler har konkurrensen ökat, vilket leder till att det inte bara är billigare att tillverka satelliter, utan även att få upp dem i omloppsbana.⁵⁷ En annan bidragande faktor till de minskande kostnaderna för att skjuta upp satelliter är att även denna teknik uppnått en ny mognadsgrad, i och med att det numera finns återanvändbara raketsteg. Allt som allt så har ledtiderna för uppskjutning förkortats avsevärt.⁵⁸

Det finns idag runt 6850 operativa satelliter i omloppsbana runt jorden, och eftersom satelliter blivit billigare och lättare och skjuta upp så ökar den siffran stadigt. I nuläget görs betydligt fler än 100 uppskjutningar per år, och kommersiella aktörer står för en allt större andel av dessa.⁵⁹ Det blir samtidigt vanligare att flera satelliter skjuts upp på samma gång. Av alla de operativa satelliter som finns i rymden är det numera merparten som ägs av kommersiella företag, och används för att sälja kommersiella rymdtjänster.⁶⁰ Det är troligt att kommersiella företag även fortsatt kommer äga en betydande andel av rymdinfrastrukturen. Företaget SpaceX håller exempelvis på att bygga en så kallad megakonstellation av satelliter som är tänkt att möjliggöra global internetuppkoppling. I färdigt skick väntas Starlink-konstellationen bestå av 40 000 satelliter.⁶¹ Det finns alltså fler satelliter än någonsin och inom kort kan antalet ha mångdubbats.⁶²

Som framgår ovan pågår en snabb utveckling inom uppströmssegmentet – den fysiska rymdinfrastrukturen håller på att växa och de civila och kommersiella intressena får en allt mer framträdande roll. Men de verkligt stora förändringarna sker nedströms, i segmentet som fokuserar på att tillhandahålla rymdtjänster och annan nödvändig markbaserad infrastruktur. Satelliter genererar stora mängder data när de skickar signaler fram och tillbaka mellan rymden och jorden eller när de tar bilder av jordens yta. Det är i nedströmssegmentet som den satellitgenererade datan sammankopplas med en slutanvändare, som numera allt oftare är en civil aktör.

Den totala mängden satellitgenererad data ökar, vilket dels beror på att satelliter blir fler, dels på att varje satellit är utrustad med allt mer avancerade instrument.

⁵⁶ Lindström et al. 2021, s. 50.

⁵⁷ Priset per kg för uppskjutning har reducerats med en faktor tio på bara de senaste tio åren, se: Lindström & Hallgren 2020, s. 103

⁵⁸ Lindström et al. 2021, s. 15 & s. 18.

⁵⁹ För en bedömning om satelliterna är aktiva används en kombination av CSpOC <https://www.space-track.org> och UCS <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>, data är hämtat den 21 november 2022.

⁶⁰ Lindström et al. 2021, s. 51; Lindström 2021, s. 9.

⁶¹ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 64.

⁶² Lindström et al. 2021, s. 33.

Kvaliteten på satellitbilder har exempelvis ökat avsevärt och idag finns satellitbilder med en upplösning på 30 cm på den kommersiella marknaden.⁶³ För att ge en indikation på vad utvecklingen betyder i termer av datamängd så kunde femton amerikanska och europeiska satelliter producera omkring 2 petabytes av data under 2012, och under 2018 var motsvarande siffra 12.5 petabytes årligen.⁶⁴

Fram tills för ett par år sedan var förmågan att nyttja den satellitgenererade datan ytterst begränsad. De begränsande faktorerna har bland annat varit datorernas beräkningskapacitet och tillgången till infrastruktur för att lagra och överföra data. Den datatekniska utveckling som skett de senaste åren skapar nu helt andra förutsättningar att utnyttja den fulla potentialen med satellitgenererad data. I takt med att allt fler stater insett detta har de även börjat investera i infrastruktur-lösningar för storskaligt dataexploaterande. EU har exempelvis tagit fram fem molnbaserade tjänster som går under namnet Data and Information Access Services (DIAS), vars syfte är att skapa tillgång till satellitdata, främst från EU:s jordobservationsprogram Copernicus.⁶⁵ Under 2019 påbörjade den svenska Rymdstyrelsen ett arbete med att etablera ett nationellt rymddatalabb, alltså en teknisk plattform för att tillgängliggöra rymddata.⁶⁶ En liknande infrastruktur-lösning har även tagits fram i Finland.⁶⁷

En annan faktor som möjliggör den snabba tillväxten av rymdtjänster i nedströmssegmentet är att merparten av all rymddata är öppet tillgänglig. OECD uppskattar att så mycket som 70 procent av all rådata från rymden är fri för vem som helst att ta del av.⁶⁸ Enkelt uttryckt finns det alltså mer och bättre data än någonsin, och vår förmåga att nyttja den har ökat.

Samtidigt som rymdteknologin uppnår en ny mognadsgrad så pågår en snabb utveckling inom närliggande teknikområden som miniatyrisering, autonomi, additiv tillverkning, robotik och AI.⁶⁹ Detta skapar nya möjligheter att finna allt fler civila tillämpningar av rymdteknologi.⁷⁰ Om man tar framstegen inom AI som exempel, så finns det numera allt mer träningsdata som kan användas för att en AI ska lära sig att finna mönster i ett dataset. Det skapar möjlighet att automatiskt analysera de bilder som satelliter har tagit av jorden, och exempelvis kategorisera de föremål och miljöer som avbildats från rymden. Dessutom kan man detektera förändringar över tid, i och med att samma yta på jorden avbildas med regelbundna intervaller.⁷¹ En europeisk Sentinel-1 satellit som ingår i Copernicus-konstellation kan exempelvis kartlägga hela jordens yta var tolfte dag

⁶³ Gullström et al. 2019, s. 7

⁶⁴ OECD 2019.

⁶⁵ Copernicus u.å.

⁶⁶ Ramboll u.å.

⁶⁷ Enligt intervju med personer verksamma vid Rymdstyrelsen (2022-05-04) och HaV (2022-05-02).

⁶⁸ OECD 2019.

⁶⁹ Lindström & Hallgren 2020, s. 102.

⁷⁰ OECD 2019.

⁷¹ Lindström & Hallgren 2020, s. 107.

och genererar 1.5 petabytes av rådata årligen.⁷² Vår förmåga att kombinera rymdteknologi med andra typer av teknologier har alltså ökat på senare tid, vilket är en bidragande orsak till att samhällets beroende av rymden ökar.

Det har på senare år utvecklats nätbaserade gränssnitt som ökar tillgängligheten av rymddatan, och leveranstiden för satellitbilder har förkortats. Många gånger är leveranstiden numera endast ett par dagar. Samtidigt fokuserar tjänstesidan allt mer på att erbjuda analyser av datan och rymddata kan förädlas i flera steg utan att det nödvändigtvis är helt uppenbart för slutanvändaren att det de konsumerar är en rymdtjänst.⁷³ Allt detta leder sammantaget till en kraftig ökning av rymdbaserade tjänster i nedströmssegmentet. Uppskattningar av det totala värdet av dessa rymdtjänster varierar något eftersom verksamheten fortfarande definieras på olika sätt, men olika källor bekräftar bilden av att det är stora ekonomiska värden som skapas. Enligt en uppgift ska 10 procent av den europeiska ekonomin vara beroende av rymdtjänster.⁷⁴ Värdet av tjänsterna i nedströmssegmentet utgör också den större andelen av rymdindustrin totalt sett – 80 procent enligt en bedömning.⁷⁵ En annan indikation på tillväxten i detta segment är att antalet registrerade europeiska och kanadensiska företag som sysslande med nedströmstjänster kopplat till jordobservation dubblade mellan 2008 och 2016, från 250 till 500.⁷⁶

Något som driver på utvecklingen är den politiska styrningen på området. Det finns ett starkt politiskt vilja att öka nyttjandet av rymddata på EU-nivå såväl som nationell nivå. Ett av de fyra målen i EU:s rymdstrategi är ”att optimera samhällsnyttan och den ekonomiska nyttan av rymdverksamhetens fördelar.”⁷⁷ Den svenska regeringen uttrycker i sin egen rymdstrategi från 2018 att de ser positivt på detta EU-mål, och har satt upp två strategiska mål som handlar om att öka användningen av rymddata i samhället. Det första målet är att Sverige ska dra nytta av deltagandet i EU:s satellitnavigerings- och jordobservationsprogram. Nyttan skapas alltså i att finna tillämpningar av all rymddata. Det andra strategiska målet är att ”data från rymdsystem i allmänhet och från EU:s satellitprogram i synnerhet är lätt tillgängliga för utveckling av teknik och tjänster, samtidigt som att Sveriges säkerhet värnas och sekretess, säkerhetsskydd och skyddet för den personliga integriteten upprätthålls.” I likhet med andra länder finns det alltså i Sverige en syn på att öppet tillgänglig data kan utgöra en motor

⁷² OECD 2019.

⁷³ Lindström et al. 2021, s. 17.

⁷⁴ European Union Agency for the Space Programme 2019.

⁷⁵ Moranta 2022, s. 7.

⁷⁶ OECD 2019.

⁷⁷ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 8.

för innovation, vilket på sikt kan bidra till ekonomisk tillväxt och ökad konkurrenskraft.⁷⁸ Regeringens syn på rymdverksamheten nedströms avspeglas även i Rymdstyrelsens instruktion.⁷⁹

Sammanfattningsvis finns det alltså en rad olika samspelande faktorer som gör att det samhällets beroende av rymden ökar. De här faktorerna är både tekniska (en fråga om teknikspridning och teknikmognad), ekonomiska (kostnaderna för rymdverksamhet har minskat medan de kommersiella intressena ökat) och politiska (den finns en uttalad vilja att se till att rymdverksamheten bidrar till samhällsnyttan). I retrospektiv kan man konstatera att det civila beroendet av rymden började utvecklas redan under rymdålderns början på femtio- och sextiotalet och har gradvis fördjupats under årtiondena som gått sedan dess. Men förändringstakten är nu högre än någonsin, vilket leder till fler och komplexare beroenden.

⁷⁸ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 7-9.

⁷⁹ Förordning om ändring i förordningen (SFS 2007:1115) med instruktion för Rymdstyrelsen: enligt 1 § ska Rymdstyrelsen ”verka för att rymdverksamhet och rymdforskning bidrar till kunskapssamhället och till industrins innovations- och konkurrenskraft samt tillfredsställer samhällets behov inom bland annat transport, kommunikation, miljö och klimat.”

5 Hot mot rymdinfrastruktur

Det huvudsakliga syftet med att göra en beroendeanalys är att skapa en ökad förståelse för vad som skulle hända vid ett bortfall av en viss tjänst eller service. Analysen skapar förutsättningar att kartlägga de möjliga konsekvenserna av bortfallet i flera led. De olika händelser eller fenomen som kan orsaka bortfall i verksamheten kan ses som ett hot mot den, eftersom ett viktigt värde (förmågan att leverera tjänsten eller servicen till samhället) sätts på spel. Det finns ett antal olika hot mot rymdinfrastruktur, och det är förekomsten av dessa hot som alltså gör att det är aktuellt att genomföra en analys av hur samhällets beroenden av denna rymdinfrastruktur ser ut.

Nedan beskrivs några av de huvudsakliga hoten mot rymdinfrastruktur. Listan är inte uttömmande och hoten presenteras inte i någon särskild ordning. Däremot delas de in i antagonistiska och icke-antagonistiska hot eftersom det hjälper till att klargöra varför och hur hotet uppstår. Den här uppdelningen är dock inte naturgiven utan det finns många olika sätt att kategorisera hot. Varje möjlig kategorisering kan hjälpa till att belysa någon dimension av hotens karaktär. Exempelvis kan man se hoten som förutsedda eller icke-förutsedda; naturligt eller mänskligt orsakade; enkla eller sofistikerade; ha lokal eller utbredd påverkan.⁸⁰

Det finns alltid osäkerheter behäftade med beskrivningen av hot, eftersom de handlar om sådant som kan inträffa i framtiden. Historiska incidenter ger dock en viss antydning om sannolikheten för att vissa hot ska förverkligas, och därför inkluderas sådan information nedan. Även konsekvenserna av hotens förverkligande beskrivs, eftersom detta är avgörande för hur bortfallet kommer te sig och vilken påverkan som uppstår för dem som är beroende av rymdinfrastrukturen. Trots att en del information om sannolikhet och konsekvens anges bör detta dock inte tolkas som någon definitiv riskvärdering, eftersom det inte gjorts någon fullödig risk- och sårbarhetsanalys i den här studien.⁸¹ Det som kan konstateras är dock att samtliga av hoten nedan är reella, i bemärkelsen att de redan förverkligas med jämna mellanrum.

5.1 Antagonistiska hot

Ett antagonistiskt hot är aktörsdrivet. Hotet uppstår för att en eller flera personer har förmåga och avsikt att orsaka skada. Ju större utrymme antagonisten får att agera, desto allvarligare blir dessutom hotet. I en rymdkontext uppstår alltså antagonistiska hot när en person, grupp eller stat har tillräckliga kunskaper och

⁸⁰ Denna uppdelning är hämtad från Wallischeck 2016, s.6, för att beskriva hoten mot GPS.

⁸¹ Det kan ifrågasättas om det ens går att göra en traditionell riskvärdering, givet att samhällets beroende av rymdinfrastruktur kan anses utgöra en komplex risk. För mer om detta, se diskussionen i kapitel 8.1.

resurser för att avsiktligt exploatera eventuella sårbarheter i rymdinfrastruktur. Nedan beskrivs några av de huvudsakliga antagonistiska hoten mot rymdinfrastruktur.

Antisatellit-vapen

Ett antisatellit-vapen (ASAT) kan användas för att förstöra en satellit eller försämra dess funktion. Det finns både kinetiska och icke-kinetiska ASAT.⁸² Vid en kinetisk (fysisk) ASAT-attack så försöker en aktör att avsiktligt träffa en satellit med ett objekt. Det kan handla om en stridsspets som avfyras direkt från marken, eller som först placeras i omloppsbana för att vid ett valt tillfälle genskjuta satelliten och detoneras i närheten av satelliten. Om ett kinetiskt ASAT placeras i omloppsbana så kan det befinna sig där under lång tid (upp till flera år), innan det slår mot det tilltänkta målet.⁸³ Kinetiska attacker mot satelliter kan dock genomföras utan tillgång till en verkansdel. Hastigheterna vid kollision med en satellit är så höga att satelliten kommer att gå sönder bara av den träffas av ett objekt, vare sig det är en verkansdel eller inte. Kinetiska ASAT-attacker kan därför genomföras genom att avsiktligt orsaka kollisioner mellan olika satelliter, eller mellan satelliter och rymdskrot.

En icke-kinetisk ASAT-attack genomförs med hjälp av kraftfulla lasrar eller elektromagnetiska vapen som riktas mot satelliten från jorden eller från en annan satellit i omloppsbana. Att attacken är icke-kinetisk innebär att satellitens funktion påverkas utan att det sker någon fysisk kontakt med den. Beroende på vad det är för typ av icke-kinetisk metod som används så kan påverkan på satelliten antingen vara permanent eller tillfällig. Lasrar kan exempelvis orsaka skada på satelliters sensorer, medan elektromagnetiska vapen kan korrumpiera data ombord på satelliten eller orsaka permanent skada på satellitens kretsar och processorer. Även kärnvapen kan användas som ett led i en icke-kinetisk ASAT-attack, eftersom det inte bara är detonationen i sig utan även den elektromagnetiska pulsen som kan slå ut satelliterna.⁸⁴

Oavsett metod är ASAT en sofistikerad vapenteknologi och det finns idag ett begränsat antal aktörer med kinetisk ASAT-förmåga, samtliga av dem är stater. Hittills är det USA, Ryssland, Kina och Indien som demonstrerat någon form av förmåga till kinetiska ASAT-attacker.⁸⁵ Det är dock betydligt fler aktörer som har kapacitet till icke-kinetiska attacker.⁸⁶

Användningen av ett ASAT-vapen skulle potentiellt kunna få stora konsekvenser. Det handlar inte bara om den omedelbara påverkan på den angripna satelliten, som vid ett lyckat angrepp blir helt obrukbar, utan även om påverkan på övriga

⁸² Lindström et al. 2021, s. 13.

⁸³ Harrison et al. 2020, s. 3.

⁸⁴ Harrison et al. 2020, s. 3-4.

⁸⁵ Lindström et al. 2021, s. 76.

⁸⁶ Enligt FOI-experten med kompetens inom rymddomänen.

föremål i rymden. Om en satellit förstörs kan det generera stora mängder rymdskrot som kan krocka med andra satelliter och på så vis orsaka ännu mer förstörelse av rymdinfrastruktur.⁸⁷ En kärnvapendetonation i rymden skulle kunna slå ut flera satelliter på en gång, vilket betyder att effekterna kan bli kännbara i flera led.⁸⁸ Utfallet av en ASAT-attack beror dock i viss mån på satelliternas konstruktion, och i takt med att ASAT-teknologin mognar så utvecklas också mer motståndskraftiga satelliter.⁸⁹ Detta innebär inte nödvändigtvis att hotet är på väg att försvinna, men det kan förändra hotets karaktär och hur konsekvenserna av en eventuell attack skulle kunna te sig.

Vid användningen av ASAT-vapen finns det en betydande risk att den antagonistiska aktören själv drabbas av konsekvenserna, bland annat för att det genereras stora mängder rymdskrot. Detta bedöms kunna höja tröskeln för användningen av kinetiska vapen.⁹⁰ Bedömningen utgår dock ifrån att aktören agerar rationellt, och noggrant väger risker mot den eventuella nyttan av att använda ett ASAT-vapen. Att bedöma andra aktörers intentioner är dock erkänt svårt, vilket betyder att det inte finns någon garanti för att de aldrig kommer att användas. ASAT-vapen skulle exempelvis kunna användas som vedergällning under ett konfliktförlopp, vilket betyder att känslomässiga och psykologiska faktorer spelar in i en aktörs bedömningar om nyttan med att bruka vapnet.⁹¹ Vad gäller benägenheten att använda icke-kinetiska ASAT har FOI tidigare konstaterat att det redan förekommer så pass mycket störningar i tjänster för satellitnavigering och satellitkommunikation att tröskeln för användning av icke-kinetiska ASAT-förmågor får betraktas som låg. Hotet finns med andra ord här och nu.

Cyberattacker

Syftet med satelliter är att de ska kunna samla in, processa, lagra och överföra information mellan rymden och jorden. För att detta ska fungera som det är tänkt är det av särskilt vikt att kontrollsegmentet på jorden kan styra och kommunicera med satelliten. Både satelliter och de markbaserade systemen som stödjer dem är alltså i grunden informationstekniska, vilket gör dem till ett potentiellt mål för cyberattacker. Genom att angripa satelliten eller kontrollsegmentet på marken kan man påverka en satellits funktionalitet, bevaka dataflöden, ta över kontrollen av satelliten, eller till och med förstöra den.⁹²

⁸⁷ Lindström & Hallgren 2020, s. 107

⁸⁸ Harrison et al. 2020, s. 4.

⁸⁹ Lindström et al. 2021, s. 16.

⁹⁰ Lindström & Hallgren 2020, s. 107.

⁹¹ Lindström et al. 2021, s. 77.

⁹² Livinstone & Lewis 2016.

Cyberattacker mot rymdinfrastruktur kan genomföras på ett flertal sätt. En antagonist kan få tillträde till datasystem via satellitantenner eller antenner på markstationer, genom markbaserade nätverk eller genom användarterminaler.⁹³ Tekniska komponenter kan komprometteras under satellitens tillverkning, om satellitägaren inte har tillräcklig kontroll och insyn i leverantörskedjan.⁹⁴ Tillverkningen av satellitkomponenter är dock globaliserad och kommersialiserad, vilket betyder att inte nödvändigtvis är någon lätt uppgift att övervaka leverantörskedjor. Möjligheterna att utnyttja eventuella sårbarheter ökar dessutom i takt med att antalet satelliter ökar, och allt oftare är sammankopplade och kommunicerar med varandra.⁹⁵

En cyberattack mot rymdinfrastruktur kan få allvarliga konsekvenser. För det första kan en cyberattack leda till ett avbrott i de rymdtjänster som de angripna satelliterna levererar, såsom navigationstjänster, jordobservationstjänster eller kommunikationstjänster (en så kallad *denial of service* attack). Det är även möjligt att angriparen kräver en lösensumma för att ägaren ska återfå kontrollen över satelliten. Om en antagonist lyckas ta kontroll av en satellit kan denne eventuellt ändra dess bana och orsaka avsiktliga kollisioner, som i sin tur riskerar att skapa rymdskrot. Om en antagonist får tillträde till en satellits datasystem är det även möjligt att dataflöden övervakas och att känslig data läcker ut. Alternativt kan en antagonist plantera falsk data i satellitens datasystem, vilket innebär att slutanvändare kan bli vilseledda och agera på opålitliga beslutsunderlag.⁹⁶

Att genomföra en cyberattack mot rymdinfrastruktur kräver god kunskap om de informationstekniska system som används i rymdinfrastruktur. Men sådana attacker behöver å andra sidan inte kräva så mycket resurser, och därför utgör både statliga och icke-statliga aktörer potentiella antagonister.⁹⁷ Det kan bland annat handla om kriminella, terrorister, hacktivister eller stater, vars syften kan variera från att vilja tjäna pengar till att främja nationella intressen.⁹⁸

Cyberattacker mot rymdinfrastrukturer är redan ett faktum. Vid två tillfällen under 2008 kunde angripare ta kontroll över Nasas satellit EOS AM-1. Eftersom angriparna sedan inte skickade några kommandon till satelliten blev konsekvenserna begränsade.⁹⁹ Men det har även skett incidenter där konsekvenserna av cyberattacker skapat simultan påverkan på aktörer i ett flertal länder: under 2014 hackades satellitsystemen hos den amerikanska vädermyndigheten US National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), vilket ledde till ett avbrott i dataleveranserna som varade i 48 timmar och påverkade andra

⁹³ Harrison et al. 2020, s. 4-5.

⁹⁴ Westman 2020, s. 3.

⁹⁵ Livinstone & Lewis 2016.

⁹⁶ Livinstone & Lewis 2016.

⁹⁷ Harrison et al. 2020, s. 5.

⁹⁸ Livinstone & Lewis 2016.

⁹⁹ Westman 2020, s. 2.

vädermyndigheter jorden runt.¹⁰⁰ Det är svårt att uppskatta hur ofta cyberattacker mot rymdinfrastruktur förekommer, eftersom de drabbade aktörerna inte alltid delger den informationen.¹⁰¹ Bedömare menar dessutom att det fram tills nyligen funnits allt för stor okunskap om att rymdinfrastruktur kan utsättas för cyberattacker.¹⁰² Nu har dock hoten börjat uppmärksammas i en allt större utsträckning, vilket medför att allt mer tid och resurser riktas mot att utveckla motåtgärder för att minska sårbarheterna.¹⁰³

Elektromagnetiska hot (avsiktliga)

Satelliter kommunicerar med aktörer på jorden via radiofrekvenser (RF) på det elektromagnetiska spektrumet. Det handlar både om signaler som skickas upp till satelliter för att styra dem (upplänk) och signaler som satelliter skickar ner till jorden (nerlänk).¹⁰⁴ De avsiktliga elektromagnetiska hoten mot rymdinfrastruktur brukar delas in i två kategorier. För det första kan RF-signalerna avsiktligt störas ut och på så vis påverka satelliternas funktionalitet och orsaka avbrott i de tjänster som satelliterna levererar. Det här brukar kallas jamming (alltså ”att blockera” på engelska).¹⁰⁵ Både upplänken och nerlänken kan bli utsatta för jamming.¹⁰⁶ Antagonister använder sig av störsändare för att genomföra sådana attacker, och idag är sådan teknologi billig och kommersiellt tillgänglig.¹⁰⁷

Den andra typen av avsiktliga elektromagnetiska hot är vilseledning, även kallat spoofing. Detta innebär att man lurar en radiomottagare att tro att en falsk RF-signal i verkliga fallet är den korrekta.¹⁰⁸ På så vis kan man ersätta korrekt information med falsk information i olika rymdbaserade system och det är både upplänkar och nerlänkar som kan påverkas av detta. Om upplänken påverkas så är det alltså själva satelliten som är målet för attacken, vilket kan innebära att en antagonist tar över kontrollen av den. Vid påverkan på nerlänken så uppstår istället en risk att aktörer på jorden börjar agera på de förfälskade RF-signalerna.¹⁰⁹ Det kan exempelvis resultera i att mottagare på jorden navigerar fel för att de tagit emot förfälskad positioneringsdata och inte själva upptäcker detta i tid.¹¹⁰

Vid störning och vilseledning av nerlänkar blir konsekvenserna geografiskt avgränsade eftersom mottagarna behöver befinna sig inom räckvidd av en störsändare för att bli påverkade.¹¹¹ Det kan dock vara förhållandevis stora geografiska

¹⁰⁰ Livinstone & Lewis 2016.

¹⁰¹ Westman 2020, s. 2.

¹⁰² Livinstone & Lewis 2016.

¹⁰³ Westman 2020, s. 2-3.

¹⁰⁴ Harrison et al. 2020, s. 4.

¹⁰⁵ Alexandersson et al. 2018, s. 7.

¹⁰⁶ Harrison et al. 2020, s. 4.

¹⁰⁷ Alexandersson et al. 2018, s. 7.

¹⁰⁸ Alexandersson et al. 2018, s. 8.

¹⁰⁹ Harrison et al. 2020, s. 4.

¹¹⁰ Alexandersson et al. 2018, s. 8.

¹¹¹ Harrison et al. 2020, s. 4.

områden som påverkas. Att påverkan är lokal behöver därför inte betyda att den är lindrig. I samband med Rysslands invasion av Ukraina har det exempelvis pågått kraftiga störningar av satellitsignaler i Östersjöområdet.¹¹² För att uppnå en sådan stor effekt krävs kraftiga militära störsändare.¹¹³ Störsändarnas effekt på den angripna rymdinfrastrukturen avtar dock så fort attacken avbryts eller när mottagaren rör sig bortom dess räckvidd, och orsakar alltså ingen permanent skada på infrastrukturen.¹¹⁴

Störning och vilseledning av satellitsignaler är redan ett utbrett fenomen. Kriminella använder sig exempelvis av störsändare för att stöldgods som kan ha integrerade GNSS-mottagare inte ska kunna följas.¹¹⁵ I ett EU-projekt har förekomsten av GNSS-störningar på 50 platser i Europa kartlagts, och man detekterade ca 70 000 störincidenter som bedömdes vara orsakade av avsiktliga störsändare. Utifrån positionsdata som rapporteras via systemet AIS (Automatic Identification System) bedömde EU-projektet även att det förekom tusentals fall av vilseledning av fartyg.¹¹⁶ Det finns exempelvis uppgifter om att kriminella grupper avsiktligt använder sig av vilseledande positionsdata för att undvika sanktioner på laster som transporteras till sjöss.¹¹⁷

5.2 Icke-antagonistiska hot

Ett hot är icke-antagonistiskt om det uppstår utan att det finns någon aktör som avsiktligt försöker orsaka skada. Det kan exempelvis handla om naturfenomen eller farliga situationer som uppstår på grund av att människor begår misstag. Icke-antagonistiska hot mot rymdinfrastruktur beror därför antingen på omständigheter som är helt bortom människans kontroll (såsom solens aktivitet) eller så uppstår de alltså på grund av att det saknas förståelse för konsekvenserna av vårt agerande i rymden, alternativt vilja att förändra vårt agerande. Några exempel på sådana hot diskuteras nedan.

Rymdväder

Solen avger energi, både i form av elektromagnetisk strålning och energirika partiklar, som kan påverka rymdinfrastrukturens funktionalitet.¹¹⁸ Hur mycket energi solen avger varierar cykliskt, och ungefär vart elfte år är solaktiviteten som mest intensiv. Mellan dessa toppar i solaktivitet avges dock fortfarande energi som når jorden och de satelliter som befinner sig i omloppsbana runt den, vilket betyder att risken för påverkan på rymdinfrastruktur kan öka eller minska med

¹¹² Traficom 2022; Rantakokko et al. 2022, s. 15.

¹¹³ Rantakokko et al. 2022, s. 14.

¹¹⁴ Harrison et al. 2020, s. 4.

¹¹⁵ Alexandersson et al. 2018, s. 7.

¹¹⁶ Rantakokko et al. 2022, s. 15-16.

¹¹⁷ Basquill 2022.

¹¹⁸ Lindström & Waldenvik 2004, s. 9.

tiden men den försvinner inte helt. När aktiviteten når sin kulmen blir det vanligare med soleruptioner, en typ av energiexplosion som är ett resultat av fysikaliska processer i solens yttre atmosfär.¹¹⁹ Förekomsten av dessa energiexplosioner har ett samband med antalet fläckar på solens yta.¹²⁰

Vid en soleruption kan jorden påverkas i tre steg. Ungefär åtta minuter efter soleruptionen når jorden av elektromagnetisk strålning; därefter dröjer det upp till en timme innan de energiladdade partiklarna når fram. Vid vissa soleruptioner sker dessutom en eller flera koronamassutkastningar, som kan resultera i att het solplasma träffar jorden efter 15-72 timmar. Vid samtliga steg finns risk för allvarlig påverkan på samhällsviktig verksamhet.¹²¹

För det första kan de energiladdade partiklarna som kastas ut av solen vid en eruption orsaka allvarliga skador på satelliter. Påverkan sker i form av urladdningseffekter, skador på satelliternas solpaneler (deras primära energikälla), eller försämrad instrumentfunktion.¹²² Den ökade solaktiviteten kan även leda till att jordens yttre atmosfär värms upp, vilket ökar luftmotståndet för satelliter som befinner sig i låg omloppsbana, och då riskerar de att bromsas upp och falla ner mot jorden. Det finns sentida exempel på det sistnämnda fenomenet. Den 4 februari 2022 sköt SpaceX upp ett fyrtiotal satelliter som skulle ingå i megakonstellationen Starlink, och placerade dem i låg omloppsbana. Dagen efter uppskjutningen inträffade en soleruption som ledde till att luftmotståndet i de nya satelliternas omloppsbana ökade med 50 procent. Därför föll 40 av de 49 nya Starlink-satelliterna ned mot jorden igen, och brann upp i atmosfären.¹²³

Den elektromagnetiska strålning som träffar jorden i samband med en soleruption kan även påverka kortvågsradio här på jorden. Lite förenklat kan man säga att de högfrekvensradiosignaler som används till kortvågsradio studsar fram och tillbaka mellan marken och jordens jonosfär, vilket gör att man kan höra signalerna över väldigt långa avstånd. Därför är kortvågsradio ett särskilt lämpligt kommunikationsmedel i verksamheter där det finns behov av att utbyta information mellan enheter som är utspridda över stora geografiska områden, som vid lufttrafikledning och sjötrafikledning. Det som händer vid en soleruption är att den elektromagnetiska strålningen i jonosfären ökar, vilket gör att högfrekvensradiosignalerna absorberas istället för att studsas fram och tillbaka. Då kan signalerna tona bort, vilket innebär att kortvågsradiokommunikationen inte fungerar. Det här kan vara extra problematiskt eftersom kortvågsradio används som ett

¹¹⁹ Eriksson & Eckersand 2019, s. 34.

¹²⁰ Lindström & Waldenvik 2004, s. 14.

¹²¹ Svenska kraftnät 2012, s. 9.

¹²² Lindström & Waldenvik 2004, s. 21-23.

¹²³ SpaceX 2022.

redundant system i lägen när satellitkommunikationen inte fungerar. Vid en sol-eruption uppstår alltså en risk att båda kommunikationssystemen faller bort samtidigt.¹²⁴

För det tredje kan partikelströmmen från en koronamassutkastning leda till förändringar i jordens magnetfält, och då kan det uppstå spänningsskillnader på olika platser på jorden.¹²⁵ Detta kan i sin tur ge upphov till kraftiga induktionsströmmar som antingen leds genom marken, eller genom ledande föremål. Sådana ledande föremål finns i vår fysiska infrastruktur, såsom elledningar, teleledningar, järnvägsledningar eller olje- och gasledningar, och induktionsströmmarna har potential att förstöra komponenter i dessa system.¹²⁶ Hur infrastrukturen påverkas beror dock på dess konstruktion, och det finns elektroniska komponenter som är mer motståndskraftiga mot geomagnetiskt inducerade strömmar än andra.¹²⁷ I elsystemet är det ofta transformatorerna som anses vara särskilt sårbara, dels rent tekniskt, dels ur ett logistiskt perspektiv eftersom att de kan ta lång tid att ersätta. Det finns en farhåga om att soleruptioner kan leda till allvarliga elavbrott.¹²⁸ Detta ses som särskilt allvarligt eftersom så många verksamheter i samhället har något form av energiberoende.

Vad gäller bedömningen av konsekvenserna av en koronamassutkastning så brukar forskare använda Carrington-händelsen som ett riktmärke. Carrington-händelsen, som inträffade år 1859, är den kraftigaste soleruption som någonsin uppmätts och orsakade bränder och allvarliga störningar i telegrafledningar samtidigt som norrsken kunde observeras jorden runt. Det görs väldigt olika bedömningar av sannolikheten för soleruptioner av Carrington-magnitud; enligt en rapport från Svenska kraftnät publicerad år 2012 beräknas en sådan eruption ske vart 500:e år.¹²⁹ I en brittisk rapport från 2013 gjordes dock bedömningen att en Carrington-liknande händelse skulle kunna inträffa en gång vart 100-200:e år.¹³⁰ En anledning till att bedömningarna är osäkra är att det bara finns historiska mätningarna för ungefär 170 år, och satelliter har endast funnits i ett sextiotial år.¹³¹ Detta betyder även att sådana bedömningar kan revideras allt eftersom att forskningsfronten flyttas fram.

Rymdskrot

De föremål som människan har skickat upp rymden och som inte längre har något funktionellt syfte brukar kallas för rymdskrot. Sådana föremål inkluderar icke-operationella satelliter, överblivna delar av rymdfarkoster, icke-återanvändbara raketsteg, verktyg som använts i rymden och inte hämtats igen, samt tekniska

¹²⁴ Lindström & Waldenvik 2004, s. 16-18; Eriksson & Eckersand 2019, s. 37.

¹²⁵ Svenska kraftnät 2012, s. 9.

¹²⁶ Eriksson & Eckersand 2019, s. 37.

¹²⁷ Svenska kraftnät 2012, s. 7.

¹²⁸ Eriksson & Eckersand, 2019, s. 37.

¹²⁹ Svenska Kraftnät 2012, s. 12.

¹³⁰ Royal Academy och Engineering 2013, s. 4.

¹³¹ Royal Academy och Engineering 2013, s. 19.

komponenter eller material som brutits loss från olika typer av mänskligt tillverkade rymdföremål. Hotet från rymdskrot uppstår då sådana föremål kan kollidera med rymdinfrastruktur, och på så vis orsaka förstörelse.¹³² Det har under det sextioal å sedan rymdåldern inleddes redan ackumulerats en stor mängd rymdskrot, varför kollisionshotet bedöms vara allvarligt. Det rör sig i nuläget om ca 28 000 större föremål (10 cm eller mer), plus ett ännu större antal mindre föremål (1 till 10 cm).¹³³ Det är enklare att uppskatta mängden av stora föremål eftersom dessa föremål lättare kan identifieras, och deras omloppsbanor kan kartläggas. Men redan vid en storlek på 1 till 10 cm bedöms rymdskrot kunna orsaka allvarlig skada på satelliter vid en eventuell kollision. Och även om det är svårt att bedöma exakta mängder uppskattas det kunna röra sig om en miljon sådana föremål.¹³⁴

Det kan ta allt ifrån årtionden till årtusenden innan rymdskrot försvinner. Exakt hur länge rymdskrotet blir kvar i rymden beror på föremålets omloppsbana. Den generella regeln är att föremål i låg omloppsbana återinträder i atmosfären snabbare än föremål i hög omloppsbana.¹³⁵ Av de ca 13 850 satelliter som skjutits upp sedan 1957 bedöms hälften av dessa vara operativa, ca en fjärdedel är icke-operationella och kvar i omloppsbana runt jorden som rymdskrot. Resterande (ca en fjärdedel) har återinträtt i atmosfären.¹³⁶ Eftersom mängden satelliter i rymden ökar stadigt och väntas ha mångdubblats inom ett par år riskerar det att uppstå ännu mer rymdskrot. På sikt kan det därför bli trångt i omloppsbana. Flertalet länder och internationella organisationer satsar därför på att utveckla eller förfinas redan existerande system som kan skapa en tillförlitlig rymdlägesbild. Det är en nyckelfunktion för att de negativa konsekvenserna av rymdskrot ska kunna begränsas och framtida kollisioner förhindras.¹³⁷

De negativa konsekvenserna av rymdskrot handlar dock inte bara om den omedelbara kollisionsrisken. För varje kollision som sker i rymden kan det uppstå ännu mer rymdskrot, vilket innebär att kollisionsrisken ökar exponentiellt. Eventuellt skulle detta kunna leda till att det sker så många rymdskrotsgenererande kollisioner att vissa omloppsbana blir obrukbara under flertalet generationer. Detta brukar kallas för Kessler-effekten. Rymdskrot utgör därför inte bara ett hot mot en eller ett par enskilda satellitsystem utan mot vår förmåga att överhuvudtaget kunna nyttja rymden på det sätt som vi hittills har gjort.¹³⁸

¹³² Sundberg & Sundberg 2021, s. 2.

¹³³ Sundberg & Sundberg 2021, s. 2-3.

¹³⁴ För mer information om bedömningen av mängden rymdskrot och skador som kan uppstå, se: The European Space Agency 2005; uppskattningar av mängden rymdskrot kommer från Sundberg & Sundberg 2021, s. 3.

¹³⁵ Sundberg & Sundberg 2021, s. 2.

¹³⁶ För en bedömning om satelliterna är aktiva används en kombination av CSPOC <https://www.space-track.org> och UCS <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>, data är hämtat den 21 november 2022.

¹³⁷ Lindström et al. 2021, s. 82-83.

¹³⁸ Lindström 2021, s. 14.

Uppkomsten av rymdskrot beror till stor del på att föremål som skickats upp till rymden inte designats för att kunnat återanvändas eller på annat sätt omhändertas när de nått slutet på sin livscykel. Det har varken funnits tillräckliga regleringar eller incitament som inverkat på aktörers beteenden i rymden, vilket har gjort att mängden rymdskrot gradvis ökat under den tid som människan har bedrivit rymdverksamhet. På senare år har dock kunskapen om problemen börjat uppmärksammas i nationella och internationella policyforum, vilket skapar förutsättningar för att problemen ska kunna hanteras. Än så länge finns dock inga tecken på att mängden rymdskrot skulle stabiliseras eller minska.¹³⁹

Rymdskrotskollisioner sker på regelbunden basis och med varierande utfall. Ibland handlar det om begränsade effekter, som att fönstren på rymdfarkoster måste bytas ut.¹⁴⁰ I andra fall kan en enskild händelse få en omfattande påverkan på rymdmiljön: år 2009 kolliderade exempelvis en aktiv amerikansk kommunikationssatellit med en inaktiv rysk satellit och skapade över 2000 nya rymdskrotsföremål.¹⁴¹ ESA uppskattade redan år 2005 att man med det dåvarande antalet satelliter i rymden kunde vänta sig en stor allvarlig kollision per årtionde.¹⁴² Eftersom antalet satelliter i rymden ökat kraftigt sedan dess får även kollisionsrisken antas vara högre idag.

¹³⁹ Sundberg & Sundberg 2021, s. 4 & 8.

¹⁴⁰ The European Space Agency 2005.

¹⁴¹ Sundberg & Sundberg 2021, s. 4.

¹⁴² The European Space Agency 2005.

6 Ansvar för hantering av risker med rymdberoenden i Sverige

Av historiska skäl hör rymdfrågor i Sverige till Utbildningsdepartementets ansvarsområde då rymdverksamhet främst har förknippats med forskning och teknikutveckling. Men flera andra departement berörs på olika sätt av rymdverksamhet, bland andra Justitie-, Försvars-, Närings- och Utrikesdepartementet med tillhörande myndigheter. I det följande ges en översiktlig bild av dessa ansvarsförhållanden.

Under Utbildningsdepartementet har den centrala förvaltningsmyndigheten Rymdstyrelsen till uppgift att främja utvecklingen av svensk civil rymdverksamhet och rymdforskning.¹⁴³ Myndighetens uppgifter består till stor del av forskningsfinansiering och deltagande i internationella samarbeten. Myndigheten ska enligt sin nya instruktion även ”beakta Sveriges utrikes-, säkerhets- och försvarspolitiska intressen”.¹⁴⁴ Lämpligheten i att en i huvudsak forsknings- och innovationsinriktad myndighet under Utbildningsdepartementet ges ansvar på detta område kan dock ifrågasättas (för en fördjupad diskussion av ansvarsförhållanden, se även kapitel 8.2).

Sårbarhetsfrågorna har främst hört till Justitiedepartementet och dess myndighet MSB som har ett övergripande ansvar för att analysera allvarliga sårbarheter, hot och risker i samhället samt föreslå åtgärder för hantering av dessa.¹⁴⁵ MSB har dock inte något utpekad ansvar för att mer konkret hantera rymdberoenden i den civila delen av samhället. Genom MSB:s generella instruktion att ansvara för sådan beredskap som annars skulle falla mellan stolarna kan dock rymdfrågor sägas ingå indirekt i MSB:s ansvarsområde. I synnerhet då myndigheten själv identifierat rymdinfrastruktur som en typ av kritisk infrastruktur.¹⁴⁶

Rymdverksamhet har fått ökad betydelse också för Försvarsdepartementet då rymden numera beskrivs som ytterligare en arena för krigföring och en ny frontlinje för militära operationer.¹⁴⁷ Försvarsmakten har sedan totalförsvarsbeslutet 2020 ansvaret för att utforma och utveckla svenskt rymdförsvar men i detta arbete står naturligen det militära försvaret i fokus och inte verksamheter i den civila delen av samhället.¹⁴⁸ Även Näringsdepartementet berörs i hög grad

¹⁴³ Rymdstyrelsen 2020.

¹⁴⁴ Förordning om ändring i förordningen (SFS 2007:1115) med instruktion för Rymdstyrelsen.

¹⁴⁵ Förordning om ändring i förordningen (SFS 2008:1002) med instruktion för Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. MSB lyder numera under Försvarsdepartementet.

¹⁴⁶ Förordning om ändring i förordningen (SFS 2008:1002) med instruktion för Myndigheten för samhällsskydd och beredskap: ”i den utsträckning inte någon annan myndighet har ansvaret.” Se även MSB 2021.

¹⁴⁷ Försvarsmakten 2022.

¹⁴⁸ Försvarsmakten 2022.

av rymdverksamhet då många kärnverksamheter inom dess ansvarsområde, t.ex. inom industri och jordbruk, har sett en ökning av olika slags rymdberoenden.

Behovet av koordinering vad gäller civila verksamheters sårbara rymdberoenden uppmärksammas i Sveriges rymdstrategi från 2018. I denna konstateras att det har blivit ”viktigare att arbeta för att minimera och förebygga risker med detta beroende”.¹⁴⁹ Insatser som bör göras är enligt strategin att:¹⁵⁰

- ”berörda myndigheter ska ha en dialog om hur de ska hantera riskerna med beroendet av enskilda rymdtjänster samt identifiera och föreslå skyddsåtgärder för rymdinfrastruktur som är betydelsefull för samhällsviktiga funktioner, och
- berörda myndigheter ska undersöka möjligheten att använda PRS¹⁵¹ för skydd av kritisk infrastruktur.”

Enligt strategin ska målen uppnås genom ”att berörda myndigheter ska ha en dialog om hur de ska hantera riskerna med beroendet av enskilda rymdtjänster från en leverantör eller tjänst samt gemensamt identifiera och föreslå skyddsåtgärder för rymdinfrastruktur som är betydelsefull för samhällsviktiga funktioner.”¹⁵² Strategin pekar inte ut någon myndighet som ledande i nämnda dialog, även om Rymdstyrelsen har många uppgifter generellt av koordinerande karaktär. Till exempel har Rymdstyrelsen ett samordnande ansvar för ”att initiera en nationell operationell rymdlägesbild i samverkan mellan berörda myndigheter.”¹⁵³

MSB nämns inte i strategin men myndigheten har de senaste åren genomfört olika analyser och studier av rymden som kritisk infrastruktur.¹⁵⁴ MSB har också fått ett ansvar att tekniskt stödja andra aktörer med att implementera Galileo PRS i Sverige (dvs. EU:s system för krypterad kommunikation mellan offentliga aktörer).¹⁵⁵ I utredningen om en ny rymdlag (SOU 2021:91) listades MSB som en av flera myndigheter som Rymdstyrelsen kan behöva samverka med, bland annat när det gäller rymdlägesbild och satellitnavigering, men utredningen såg inga behov av utökad samverkan.¹⁵⁶ Varken MSB eller Rymdstyrelsen har sammanfattningsvis givits något uttalat övergripande mandat eller ansvar för att på

¹⁴⁹ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 4.

¹⁵⁰ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 14.

¹⁵¹ Med PRS avses en krypterad kommunikationstjänst (Public Regulated Service), på svenska *Offentligt reglerad tjänst*, som EU utvecklar inom ramen för satellitsystemet Galileo.

¹⁵² Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 14-15.

¹⁵³ Regeringens skrivelse 2017/18:259, s. 14-15.

¹⁵⁴ Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2014.

¹⁵⁵ MSB 2021a.

¹⁵⁶ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 380: ”Det är vår bedömning att omfattningen av sådana samråd kommer vara relativt oförändrat framöver och det bör därför kunna hanteras inom budgetramen för respektive myndighet på samma sätt som i dag.”

rymdområdet leda eller samordna samhällsviktiga verksamheters hantering av sårbara rymdberoenden.¹⁵⁷

Förutom de centrala myndigheterna har också landets länsstyrelser, regioner och kommuner ett ansvar att analysera och hantera kritiska beroenden liksom risker och sårbarheter inom sina samhällsviktiga verksamheter. Ett ramverk för detta arbete utgörs av de återkommande risk- och sårbarhetsanalyserna som aktörerna har ett ansvar att genomföra. När det gäller beroenden av kritisk infrastruktur ska dessa analyser i teorin beakta hur avbrott i samhällsviktiga verksamheter skulle kunna uppstå och sedan föreslå åtgärder för att förebygga detta.

I MSB:s slutredovisning av regeringsuppdraget att ta fram förslag för att stärka det civila försvarets förmåga konstateras att rymdsäkerhet hör till de områden som är viktiga att beredskapsplanera, men som inte är inplacerat eller omhändertaget i en befintlig beredskapssektor.¹⁵⁸ Mot bakgrund av att kritiska satellitsystem kan drabbas av angrepp eller andra störningar som kan påverka civil såväl som militär funktionalitet menar MSB att en god operativ lägesbild, liksom en strategisk säkerhetsanalys avseende rymden, är grundläggande komponenter i totalförsvaret. För att uppnå detta föreslår MSB att regeringen samlar de viktigaste aktörerna genom att skapa en funktion för rymdsäkerhet, där uppgifter inom rymdlägesbild ingår.¹⁵⁹

En sådan motsvarande funktion finns i Norge, och beskrivs nedan. Information om den norska modellen inkluderas för att exemplifiera och konkretisera hur alternativa ansvarsförhållanden skulle kunna se ut. Den norska modellen behöver inte utgöra det bästa exemplet för Sverige, utan är bara en av många möjliga referenspunkter som kan användas för att utforska styrkor och förbättringspotentialen i en svensk kontext.¹⁶⁰

Den norska modellen

Att jämföra ansvarsmodeller mellan olika länder kan vara vanskligt på grund av olikheter i förvaltningssystem och traditioner. Men ett intressant och med Sverige jämförbart exempel återfinns i Norge som har valt en väg med interdepartemental koordinering i form av en rymdkommitté respektive en särskild rymdsäkerhetskommitté. Om denna modell kan man läsa mer i den norska strategin för rymdverksamhet som ägnar ett kapitel åt ”organiseringen av statens engagemang”.¹⁶¹ Det överordnade rymdansvaret återfinns sammanfattningsvis i Norge på Närings-

¹⁵⁷ Enligt intervjudeltagare.

¹⁵⁸ MSB 2022a, s. 126-129.

¹⁵⁹ MSB 2022a. Som berörda myndigheter listas MSB, Rymdstyrelsen, Försvarsmakten, FOI, Försvarets materielverk, Säkerhetspolisen, Kustbevakningen, Sjöfartsverket, Lantmäteriet, Luftfartsverket, Polismyndigheten, PTS och SMHI. Utöver dessa noteras också akademiska institutioner, internationella organisationer och viktiga företag som exempelvis tillverkare av rymdutrustning samt Swedish Space Corporation (SSC) som äger och driver Esrange i Kiruna.

¹⁶⁰ Exemplet med den norska modellen lyftes fram av en av de rymdexperter på FOI som konsulterats löpande under studien.

¹⁶¹ Meld. St. 10 (2019 – 2020).

och fiskeridepartementet men då rymdfrågor, som konstateras i strategin, berör de flesta departement krävs också en omfattande interdepartemental koordinering.¹⁶²

Mot denna bakgrund har inrättats en rymdkommitté med uppgift att koordinera de mest berörda departementen och tillse att norsk statsförvaltning har en förståelse för rymdverksamhet och dess betydelse för norska intressen. Under rymdkommittén finns en underkommitté kallad rymdsäkerhetskommittén som bildades 2016. Detta mot bakgrund av ökande behov av att behandla säkerhetsklassad information liksom behov att tydliggöra myndighetsansvaret. Deltagare i rymdsäkerhetskommittén är försvars-, justitie-, närings-, kommunal-, transport- och utrikesdepartementen, liksom den nationella säkerhetsmyndigheten, säkerhetspolisen, underrättelsetjänsten, direktoratet för samhällssäkerhet och beredskap, nationella kommunikationsmyndigheten och Norsk Romsenter.¹⁶³ Myndigheten Norsk Romsenter är ett samordnande och verkställande organ med uppdrag att stödja stat och näringsliv med råd liksom att fördela nationella medel för utveckling samt följa upp internationella samarbeten.¹⁶⁴ Den norska regeringen använder sig av rymdkommittén och rymdsäkerhetskommittén som plattform för koordinering av rymdverksamhet i norsk förvaltning.¹⁶⁵ Båda kommittéerna lyder under Närings- och fiskeridepartementet.

¹⁶² Meld. St. 10 (2019 – 2020), s. 31.

¹⁶³ Meld. St. 10 (2019 – 2020), s. 33.

¹⁶⁴ Meld. St. 10 (2019 – 2020), s. 30. Se även: Norsk Romsenter, *Mer om romsentret*: <https://www.romsenter.no/no/Om-oss/Mer-om-Romsenteret> [2022-11-14].

¹⁶⁵ Meld. St. 10 (2019 – 2020), s. 33.

7 Samhällets beroenden av rymdinfrastruktur

I det här avsnittet redovisas studiens resultat. De tre delkapitlen motsvarar studiens tre delmål (se kapitel 1). Det första och tredje delkapitlet bygger huvudsakligen på information från intervjuer, men i texten inkluderas hänvisningar till öppna källor där det går att finna mer kontextuell information om exemplet. Det andra delkapitlet bygger i stor utsträckning på information från FOI-kollegor, samt öppna skriftliga källor.

7.1 Överblick av samhällets rymdberoenden

Studiens första delmål är att ta fram en översiktlig bild av samhällets beroenden av rymden. I detta kapitel beskrivs dessa beroenden, med exempel hämtade från intervjuer samt öppna källor. Resultaten redovisas sektorsvis, och följer den nya sektorindelning som gäller för det civila försvaret sedan 1 oktober 2022.

Ett mervärde med att följa denna struktur är att det gör det tydligt vilka myndigheter som berörs och som kan antas ha ett ansvar för att riskerna förknippade med rymdberoenda hanteras. Särskilt de sektorsansvariga myndigheterna får förmodas ha en särskilt viktig roll i att säkerställa att rymdberoenden beaktas i den framtida utvecklingen av totalförsvaret. Eftersom denna struktur är relativt ny vid tiden då denna studie publiceras inleds varje avsnitt med en kort beskrivning av varje beredskapssektor. Denna beskrivning baseras på skrivningar i betänkandet *Struktur för ökad motståndskraft*, eftersom regeringen ännu inte preciserat hur de nyligen inrättade beredskapssektorerna ska avgränsas. Vilka myndigheter som ingår i varje sektor framgår av förordning (SFS 2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

7.1.1 Ordning och säkerhet

Beredskapssektorn Ordning och säkerhet omfattar polisiär verksamhet, skydd av Sveriges gränser, åklagarverksamhet, kriminalvård och annan säkerhetsverksamhet som bekämpning av terrorism och skydd av den centrala statsledningen. Sektorn leds av Polismyndigheten och de övriga myndigheter som ingår i sektorn är Domstolsverket, Kriminalvården, Kustbevakningen, Säkerhetspolisen, Tullverket och Åklagarmyndigheten.¹⁶⁶ Verksamheten inom sektorn stöds idag av ett antal rymdtjänster, och det finns exempel på hur användningen av dessa tjänster ökar.

¹⁶⁶ Förordning (SFS 2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

De myndigheter som har ansvar för att upprätthålla ordning och säkerhet har generellt ett behov att kunna bevaka var fordon och personer befinner sig och hur de rör sig. I ett operativt skede handlar det om att skapa en tillförlitlig lägesbild för att insatser ska kunna ledas och koordineras effektivt. Inom sektorn finns även ett behov av att kunna övervaka frihetsberövade personer, exempelvis under persontransporter.¹⁶⁷ RAKEL-systemet har en positioneringsfunktion, vilket kan bidra till förmågan att skapa en lägesbild.¹⁶⁸ Positioneringsfunktionen i RAKEL bygger företrädesvis på GNSS, vilket kan utgöra en sårbarhet. Men enligt de uppgifter som samlats in under studiens genomförande finns även andra metoder för att aktörerna i sektorn ska kunna följa sina resurser på ett någorlunda effektivt sätt.¹⁶⁹ En person som intervjuats i studien resonerar att polisära resurser troligtvis har en grundläggande förmåga att navigera utan stöd av PNT-tjänster, och att det snarare är ledningscentralernas förmåga att leda och inrikta dessa resurser som kan betraktas som särskilt sårbar i sammanhanget.¹⁷⁰

En annan viktig förmåga för aktörerna inom sektorn är att kunna kommunicera på ett säkert och robust sätt. Idag är det framför allt RAKEL-systemet som fyller denna funktion. RAKEL-systemet uppges dock inte ha något beroende av GNSS för tid eller frekvenshållning.¹⁷¹

Aktörerna inom sektorn har identifierats som möjliga framtida användare av Galileo PRS, en ny GNSS-tjänst som är mer robust mot störning och vilseledning av RF-sigaler.¹⁷² Tjänsten är mer robust eftersom RF-signalerna är krypterade och sänds över en större bandbredd. Galileo PRS är fortfarande inte operativt i Sverige, men när det blir det kommer de som använder tjänsten alltså att öka sitt rymdberoende.¹⁷³

Ett specifikt tillämpningsområde av GNSS finns inom kriminalvården. I Sverige används ibland elektroniska fotbojor som ett alternativ till traditionell fängelsevård. Traditionellt bygger tekniken på att den elektroniska fotbojan kommunicerar med en Home Monitoring Unit (HMU). På senare tid har dock den svenska kriminalvården börjat införa nya fotbojor där den traditionella tekniken kompletteras genom att man även integrerar GNSS-sändare i fotbojorna. En fördel med detta är att Kriminalvården kan övervaka personer som befinner sig utanför hemmet, exempelvis på ett sysselsättningsställe.¹⁷⁴

Att upprätthålla ordning och säkerhet bygger även på att de ansvariga myndigheterna kan bevisa att brott har begåtts, och noggranna tidsangivelser kan utgöra

¹⁶⁷ Enligt intervjuer med personer verksamma vid MSB (2022-03-02) och (2022-04-13).

¹⁶⁸ MSB 2022d.

¹⁶⁹ Enligt uppgifter inhämtade skriftligen från MSB.

¹⁷⁰ Enligt intervju med person verksam vid MSB (2022-04-13).

¹⁷¹ Enligt uppgifter inhämtade skriftligen från MSB.

¹⁷² Enligt intervjuer med personer verksamma vid MSB (2022-03-02) och (2022-04-13).

¹⁷³ Alexandersson et al. 2018.

¹⁷⁴ Wilhelmsson 2021.

en viktig del av ett bevismaterial. Det är exempelvis viktigt att man kan lita på och jämföra tidsstämplar från övervakningskameror för att kunna kartlägga ett händelseförlopp i en brottsutredning.¹⁷⁵ Tidsstämplar i elektronisk kommunikation eller i annat bildmaterial, såsom vid vägtullar, kan på ett liknande sätt vara viktiga för att fastställa var olika personer eller föremål befunnit sig vid en given tidpunkt.¹⁷⁶ Eftersom det handlar om ett stort antal system som kan tänkas användas på det här sättet, och det krävs teknisk expertis för att förstå hur vart och ett av dem inhämtar sin tid, har det inte funnits förutsättningar att undersöka hur stort rymdberoendet är inom just brottsutredningsverksamheten.

Inom sektorn finns även ett exempel på hur satellitbilder kan användas för gränsövervakning.¹⁷⁷ Frontex, EU:s gemensamma gräns- och kustbevakningsbyrå, har som uppgift att koordinera medlemsländernas bevakning av unionens yttre gränser. Eftersom Sverige deltar i Schengensamarbetet som syftar till fri rörlighet inom unionen så är EU:s yttre gränser även våra. Sedan 2015 använder sig Frontex av satellitdata från det europeiska jordobservationsprogrammet Copernicus för att genomföra detta uppdrag.¹⁷⁸ Tillgången till satellitdata från Copernicus bidrar till Frontex förmåga att skapa sig en lägesbild över gränsområdena, vilket exempelvis gör det lättare att upptäcka irreguljär invandring. Detta ger också Frontex en möjlighet att vid behov inleda eftersök- och räddningsoperationer av personer som hamnar i nöd när de försöker ta sig till EU:s territorium.¹⁷⁹ På så sätt kan man resonera att rymdtjänsterna har betydelse för förmågan att rädda liv.

7.1.2 Räddningstjänst och skydd av civilbefolkningen

Beredskapssektorn Räddningstjänst och skydd av civilbefolkningen ska enligt förslagen i betänkandet Struktur för ökad motståndskraft (SOU 2021:25) hantera frågor kopplat till kommunal och statlig räddningstjänst, alarmeringstjänst, befolkningsskydd och strålskyddsberedskap. I beredskapssektorns ansvarsområde ingår också att säkerställa tillgång till data om meteorologiska, klimatologiska, hydrologiska och oceanografiska förhållanden.¹⁸⁰ Sektorn leds av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap och de övriga myndigheter som ingår i sektorn är Kustbevakningen, Polismyndigheten, Sjöfartsverket, Strålsäkerhetsmyndigheten, SMHI samt de 21 länsstyrelserna.¹⁸¹ Det går att finna flertalet exempel på rymdberoenden inom sektorn, men liksom med andra sektorer är det svårt att bedöma huruvida dessa bör klassas som kritiska.

¹⁷⁵ MSB 2014, s. 9.

¹⁷⁶ MSB 2014, s. 8.

¹⁷⁷ Enligt intervju med personer verksamma vid SMHI (2022-03-25).

¹⁷⁸ Frontex 2015. Notera att Sverige medfinansierar Copernicusprogrammet, och på så vis kan anses ha en grad av kontroll och inflytande över rymdinfrastrukturen.

¹⁷⁹ Frontex u.å.

¹⁸⁰ Utredning om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 250.

¹⁸¹ Förordning (SFS 2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

Vid kriser och krig är det inte ovanligt att den markbundna infrastrukturen för mobiltelefoni påverkas. Nätet kan i sådana situationer bli överbelastat eller så kan infrastrukturen förstöras rent fysiskt, i såväl antagonistiskt som icke-antagonistiskt drivna händelseförlopp. Satellittelefoner kan då utgöra ett alternativt kommunikationsmedel, och i andra länder är det därför mycket vanligt att de ingår i den utrustning som räddningstjänstpersonal bär med sig. I Sverige är bilden dock lite annorlunda – inom landet är det som bekant RAKEL som primärt är tänkt att användas i situationer då mobiltelefoni och internet drabbats av allvarliga störningar. Ur ett strikt nationellt perspektiv är beroendet av satellittelefoner inom sektorn därför begränsat, även om det finns exempel från Sverige på situationer då de använts.¹⁸² Satellittelefoner används framför allt under MSB:s internationella insatser.¹⁸³

Användningen av satellitbaserade nödsändare utgör ett annat exempel på ett rymdberoende inom sektorn. Ett exempel på ett sådant system är Cospas/Sarsat, som förmedlar larm från en nödsändare till närmaste räddningstjänstaktör via satellit. Det finns olika typer av nödsändare som kan bäras av privatpersoner, eller placeras på fartyg eller flygplan. Eftersom systemet är internationellt betyder det att den som befinner sig i nöd kan larma även om de inte befinner sig i sitt hemland. Sverige är ett av de 45 länder och organisationer som deltar i samarbetet, och MSB har helhetsansvaret för det svenska deltagandet. När en nödsändare aktiveras i Sverige går larmet till Sjöfartsverkets Sjö- och Flygräddningscentral som bedömer vem som ska agera på det. När svenskar befinner sig utomlands kontaktas både den lokala räddningstjänsten och Sjöfartsverket.¹⁸⁴

Sveriges deltagande i Cospas/Sarsat utgör ett tydligt rymdberoende, men eftersom programmet har pågått sedan 1979 så är det alltså inget nytt beroende. Där emot har den fysiska infrastrukturen som ingår i Cospas/Sarsat utökats på senare tid, med fler satelliter i medelhög omloppsbana, och det är det europeiska Galileoprogrammet som är den största bidragaren till utbyggnaden i termer av satelliter och markbaserad infrastruktur. Genom EU blir Sverige därför en indirekt ägare av denna infrastruktur. Om man inkluderar ägandeförhållanden i sin definition kan alltså detta ”beroende” ur ett perspektiv anses ha minskat något.¹⁸⁵

Ett annat exempel på en alarmeringstjänst med ett rymdberoende är SOS Alarms app där den nödställda kan skicka sin position direkt till larmcentralen via telefonens GPS-funktion. Användaren måste ha gett sitt medgivande till att GPS-datan ska användas för att denna funktion ska fungera. När användaren ringer 112 via appen så får larmoperatören fram en platsposition, om den är tillgänglig. Larmoperatören verifierar sedan alltid muntligen att den som ringer befinner sig

¹⁸² Rymdstyrelsen 2016, s. 46-59; detta bekräftas även under intervju.

¹⁸³ Enligt intervju med en person verksamma vid MSB (2022-03-02). Se även Rymdstyrelsen 2016 för mer bakgrundsinformation.

¹⁸⁴ MSB 2021; PTS 2021.

¹⁸⁵ European Union Agency for the Space Programme 2021; Cospas-Sarsat u.å.

där man tror att de är. Detta är inte minst viktigt eftersom den som larmar inte alltid är samma person som behöver hjälp, och kanske befinner sig på en annan plats än dit resurserna behöver skickas. När larmoperatören bekräftat positionen skickas informationen vidare i larmkedjan – vilket exempelvis kan vara ambulans om det gäller en person i behov av vård. Att dela sin position med SOS Alarm via appen innebär att hela larmningsprocessen oftast går snabbare, men positions-datan från appen ersätter alltså inte den traditionella metoden för att muntligen bestämma vart hjälp behöver skickas. Även om appen har ett rymdberoende kan det alltså konstateras att den funktion som använder sig av GNSS inte är kritisk för att larmkedjan ska fungera.¹⁸⁶

För ledningscentraler är det även viktigt att veta var utryckningsfordon befinner sig, exempelvis för att kunna skicka den resurs som är närmast den plats där hjälp behövs.¹⁸⁷ Utryckningsfordon är därför ofta utrustade med GNSS-mottagare,¹⁸⁸ men kan även vara användare av RAKEL.¹⁸⁹ Aktörerna inom sektorn har därför, precis som aktörerna inom sektorn Ordning och säkerhet, identifierats som möjliga framtida användare av Galileo PRS (dessa aktörer är ibland samma, och kan verka i båda sektorer).

Inom sektorn används både satellitbilder och meteorologisk data, och det finns tecken på att sådan rymddata är på väg att bli allt mer betydelsefull för sektorns aktörer. Förmågan att observera jorden från rymden innebär för det första att räddningstjänsten kan få tidig förvarning om naturrelaterade händelser, och på så vis agera snabbare för att minska risken för skador på människor, egendom och miljö.¹⁹⁰ Ett konkret exempel är hur MSB har börjat använda sig av satellitdata för att upptäcka bränder. Under sommaren 2022 inträffade en skogsbrand i Småland, och tack vare att den detekterades med hjälp av satelliter fick räddningstjänsten 30 minuter mer förvarning än vad som annars varit fallet. Den traditionella skogsbrandsbevakningen som hjälp av flygplan genomförs dock fortfarande, och larm från allmänheten är alltjämt en viktig delmängd av systemet.¹⁹¹

Ett liknande exempel är den europeiska förvarningstjänsten för översvämning, på engelska European Flood Awareness System (EFAS), som utvecklas inom ramen för Copernicus-programmet.¹⁹² SMHI har mellan 2012-2021 haft ett ansvar för att distribuera översvämningssvarningar till medlemsländerna, så det är en rymdtjänst där Sverige kan konstateras ha en framträdande roll.

¹⁸⁶ Enligt intervju med personer verksamma vid SOS Alarm (2022-10-28).

¹⁸⁷ Enligt intervju med personer verksamma vid SOS Alarm (2022-10-28).

¹⁸⁸ Enligt intervju med personer verksamma vid SOS Alarm (2022-10-28).

¹⁸⁹ Enligt intervjuer med personer verksamma vid MSB (2022-03-02) och (2022-04-13).

¹⁹⁰ Enligt intervjuer med personer verksamma vid MSB (2022-03-02) och SMHI (2022-03-25).

¹⁹¹ MSB 2022b.

¹⁹² SMHI 2016.

Sedan 2019 har Naturvårdsverket använt sig av satellitdata för att förbättra sina lavinprognoser.¹⁹³ Traditionellt sett görs lavinprognoser med hjälp av observatörer som inhämtar information om snötäckets stabilitet ute i fält, vilket kombinerat med väderprognoser ger en indikation på risken för laviner. Satellitdata kan komplettera denna informationsinsamlingsprocess, men det är inte aktuellt att sluta med snöobservation. Lavinprognosmakare litar ”inte blint på den teoretiska bilden som väderdatan ger, utan går ut på fjället och letar direkta bevis på hur stabil snön [är].”¹⁹⁴

Under en intervju med Rymdstyrelsen nämndes även att kommunerna kan använda satellitdata för att mer effektivt planera den fysiska miljön. Satellitdata kan bland annat bidra med insikt om hur vattenflöden ser ut, vilka områden som lider risk för att drabbas av torka och hur värmefördelningen ser ut inom tätbebyggda områden.¹⁹⁵ Det finns spridda exempel på att kommunerna redan använder satellitdata på detta sätt, men inom ramen för den här studien det har inte varit möjligt att få en helhetsbild över hur utbredd den användningen är i landet som helhet.

Satellitdata kan även användas i ett operativt skede av räddningsinsatser. Bilder över hur en brand eller översvämning utvecklas kan exempelvis utgöra beslutsunderlag som hjälper till att inrikta resurser under hanteringen av en pågående händelse.¹⁹⁶ Ett konkret exempel på när detta gjorts var under skogsbränderna i Sverige under 2018, när bilder från Copernicus användes för att vägleda insatserna och övervaka spridningen av branden.¹⁹⁷

Rymdberoenden inom SMHI:s verksamhetsområde

Av intervjuerna framgår att meteorologisk data är viktig för samhällets funktionalitet, vilket speglas i regeringens beslut att utse SMHI till en beredskapsmyndighet. Eftersom SMHI tillhör sektorn Räddningstjänst och skydd av civilbefolkningen, och inte ingår i någon annan av beredskapssektorerna, presenteras övrig information om meteorologins, oceanografins och klimatologins rymdberoenden i det här avsnittet.

Den första vädersatelliten skickades upp redan 1960, och sedan dess har satellitdata övergått till att bli en av de primära datakällorna inom meteorologin. Redan för tio år sedan uppskattades att meteorologin var till 90 procent beroende av satellitdata.¹⁹⁸ I den här studien har vi inte fått fram någon uppdaterad siffra, men det finns inget som antyder att beroendet skulle ha minskat. Fler och fler vädersatelliter skjuts upp och inom EU görs ansträngningar för att exploateringen av meteorologisk rymddata ska öka. Den europeiska vädersatellitorganisationen

¹⁹³ Lavinprognoser 2019.

¹⁹⁴ Lavinprognoser, u.å.

¹⁹⁵ Se exempelvis Geoforum Sverige 2021 eller Glennegård 2022.

¹⁹⁶ Enligt intervjuer med personer verksamma vid Rymdstyrelsen (2022-05-04); MSB (2022-03-02);

¹⁹⁷ Sallinen 2018.

¹⁹⁸ Rymdstyrelsen 2013, s. 11.

EUMETSAT ansvarar till exempel för drift och underhåll av vädersatelliter, samt att tillgängliggöra datan.¹⁹⁹ Med hjälp av satellitdata ökar prognoskvaliteten ständigt. Enligt uppgifter som framkom under en intervju blir prognoserna en dag "bättre" ungefär vart tionde år. Det är framförallt denna prognoskvalitet som skulle gå förlorad utan tillgång till satellitdata.²⁰⁰

Det finns i viss mån alternativa metoder för att göra meteorologiska mätningar.²⁰¹ Det handlar exempelvis om de mätningar av vind, temperatur, fukt, nederbörd, lufttryck och molnhöjd som görs från marken, och de fyra stationer i Sverige från vilka man gör mätningar med väderballonger eller radiosonder.²⁰² Men inte ens dessa alternativa metoder för väderobservation kan anses vara helt rymdberoende: En väderballong är utrustad med instrument som gör mätningar av vind, temperatur och luftfuktighet på olika höjder, och eftersom det är viktigt att veta på vilken höjd en viss observation är gjord så är ballongerna vanligtvis utrustade med en GPS-sändare. I händelse av störningar eller bortfall av GNSS-tjänster skulle man kunna få in data om vind, temperatur och luftfuktighet men inte veta var i atmosfären mätningen är gjord, vilket gör informationen mindre användbar.²⁰³

Istället för GPS kan meteorologer använda radar för att bestämma ballongens höjd, men det är en metod som helt slutat användas inom den civilt inriktade meteorologin. Det är dock en metod som används idag inom Försvarsmakten. Enligt en person på FOI med kompetens inom försvarstillämpad meteorologi använder sig exempelvis arméns artilleri av radar (med en reflektor som hänger under ballongen) istället för GPS vid radiosonderingar. Artilleriet behöver information om vindförhållanden för olika höjder när de skjuter eftersom granater kan nå upp till 10 km på toppen av sin bana, och de kan behöva kompensera för vinden för att träffa ett mål.

Den kommersiella flygtrafiken utgör en ytterligare källa till väderdata.²⁰⁴ Väderinstrument finns monterade på flygplan och mäter parametrar som vind och temperatur på 10-12 kilometers höjd. Det finns därför ett visst korsberoende mellan transportsektorn och meteorologin, något som blev uppenbart under covid-19 pandemin. Som bekant så minskade den kommersiella flygtrafiken drastiskt under pandemin, vilket ledde till att mängden väderdata minskade och att prognoskvaliteten försämrades. Konsekvenserna av detta var dock begränsade, i och med att det framför allt handlar om mätningar som görs på hög höjd. En aktör som kan påverkas mer än andra är Försvarsmakten, som har ett behov av information om höjdvindar i sin verksamhet. Eftersom det finns exempel på

¹⁹⁹ EUMETSAT u.å.

²⁰⁰ Enligt intervju med personer verksamma vid SMHI (2022-03-25).

²⁰¹ Enligt intervju med personer verksamma vid SMHI (2022-03-25).

²⁰² SMHI 2021.

²⁰³ Enligt intervju med personer verksamma vid SMHI (2022-03-25).

²⁰⁴ Enligt intervju med personer verksamma vid SMHI (2022-03-25).

hur rymdtjänster används inom flygtrafiken skulle det gå att argumentera att inte ens denna källa för meteorologisk data är helt utan indirekta rymdberoenden.²⁰⁵

Under den intervju som genomförts med personer verksamma vid SMHI resonerade dessa intervjudeltagare om huruvida internationella samarbeten ska tolkas som "ett beroende", eller om de rent av utgör en metod för redundans. Sverige deltar i ett antal internationella meteorologiska samarbeten, som EUMETSAT, vilket kan vara att betrakta som ett beroende eftersom vi då inte har helt suverän kontroll över rymdinfrastrukturen i form av vädersatelliter, kontrollsegment eller data. Å andra sidan innebär internationella samarbeten att Sverige kan få tillgång till meteorologisk data från flera olika källor, vilket sprider riskerna. I händelse av en störning eller ett bortfall som drabbar en konstellation av vädersatelliter kan det i vissa scenarier fortfarande finnas andra sätt att få tillgång till väderdata genom andra samarbeten. Men intervjudeltagarna poängterar också att det finns vissa satelliter som är unika och där det därför inte alltid går att ersätta en data-källa med en annan.

Jordobservationstjänster har även stor betydelse för förmågan att övervaka klimatförändringarna, vilket påpekats av de personer som intervjuats i studien.²⁰⁶ Samtidigt är det inte särskilt troligt att samhällets funktionalitet skulle äventyras vid ett kortvarigt avbrott i dessa tjänster. Kvaliteten i de vetenskapliga underlagen om klimatförändringarna kanske försämrars något i en sådan situation, men vi har fortfarande kunskap om fenomenets existens. En person menar dock att förmågan till klimatövervakning via satellit har en existentiell dimension, eftersom klimatkrisen utgör ett hot av sådan stor dignitet.²⁰⁷

SMHI:s roll inom rymdväderövervakning

Rymdväder utgör ett hot mot rymdinfrastruktur (se kapitel 5.2) och därför är rymdväderövervakning en viktig funktion för att beroendet av rymdinfrastruktur ska kunna hanteras. SMHI har ansvar för att förmedla information om när solaktiviteten är hög till berörda aktörer i Sverige. Myndigheten får in prognoser och varningar för rymdväder från den brittiska väderorganisationen Met Office, som får in sin information från den amerikanska väderorganisation National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Sverige är alltså ur ett avseende beroende av Storbritannien och USA för att kunna få tillgång till rymdvädervarningar. SMHI samarbetar med MSB och Svenska kraftnät för att sprida informationen till de aktörer som identifierats ha behov av vädervarningar inom landet.²⁰⁸

²⁰⁵ Försvarsmakten u.å; Försvarsmakten 2020; Freedman 2020.

²⁰⁶ Exempelvis har det lyfts av personer verksamma vid Rymdstyrelsen (2022-04-21) och SSC (2022-04-22).

²⁰⁷ Enligt intervju med en person verksam vid Rymdstyrelsen (2022-04-21).

²⁰⁸ MSB & SKR 2022, s. 7; Rymdstyrelsen 2022.

7.1.3 Hälsa, vård och omsorg

Beredskapssektorn Hälsa, vård och omsorg omfattar de viktiga samhällsfunktionerna hälso- och sjukvård, tandvård, smittskydd, läkemedelsförsörjning samt socialtjänst.²⁰⁹ Sektorn leds av Socialstyrelsen och övriga myndigheter som ingår i sektorn är E-hälsomyndigheten, Folkhälsomyndigheten och Läkemedelsverket.²¹⁰ Inledningsvis kan noteras att denna beredskapssektor berör många delar av samhället och är beroende av ett antal viktiga samhällsfunktioner, som el, transporter, drivmedelsförsörjning och olika slags digital infrastruktur. I den mån dessa funktioner har inbyggda beroenden av rymdtjänster har även denna sektor det. En analys av rymdberoenden kan dessutom göras ur många specifika perspektiv, som t.ex. hur beroendena ser ut för ett storsjukhus eller för en vårdcentral i glesbygd, eller för kedjan av läkemedelsförsörjning, från produktion till konsumtion. Följande beskrivning kan endast beröra sektorns beroenden på ett övergripande plan, med några nedslag och exempel.

Ett välkänt om än inte kritiskt rymdberoende finns inom den mobila sjukvården som använder sig av navigerings- och kommunikationstjänster (se avsnitt 7.1.1. och 7.1.2 för mer information om detta). I en brittisk rapport om kritiska rymdberoenden förutspås också vissa typer av mobila beroenden inom akutsjukvården öka då det finns ett intresse av att kunna ge behandling så tidigt som möjligt. Detta skulle kunna leda till att ambulanser utvecklas till (än mer) avancerade mobila traumaenheter som kan ge behandling redan vid olycksplatsen.²¹¹ Denna möjlighet bygger på stabila kommunikationslösningar för att personalen ska kunna få stöd på distans.²¹²

Ett teknikområde som utvecklats starkt de senaste åren är e-hälsa, också kallat telemedicin. Enligt en källa händer det exempelvis att röntgenbilder tagna på sjukhus i Sverige analyseras av svenska radiologer i Australien. Genom att utnyttja tidsskillnaderna kan man effektivisera arbetet.²¹³ Telemedicin kan också bidra till att överhuvudtaget tillgängliggöra sjukvård i avlägsna eller isolerade delar av världen genom att koppla ihop kompetens i en del av världen med behov i en annan del.²¹⁴ Tekniken kan i vissa fall bygga på tillgång till kommunikation och bildöverföring via satellit.

Olika tekniska lösningar har sedan länge varit under utveckling i Sverige för att hantera de utmaningar som sjukvård i glesbygd utgör. På Storumans sjukstuga har man arbetat med distansteknik sedan mitten av 1990-talet då de första telemedicinska konsultationerna gjordes. En drivkraft är att kunna erbjuda hälso- och sjukvård så nära patienten som möjligt och minska behovet för patienter att göra

²⁰⁹ Utredning om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 237.

²¹⁰ Förordning (2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

²¹¹ Government Office for Science 2018, s. 44.

²¹² Government Office for Science 2018.

²¹³ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 63.

²¹⁴ För exempel från Afrika och Asien, se Rymdstyrelsen 2016, s. 40.

långa resor för rutinundersökningar. Till exempel har ett projekt handlat om att kunna göra hjärtultraljud på distans. Andra utvecklingsprojekt handlar om automatiserade vårdtransporter, t.ex. leveranser av prover eller medicin via drönare, vilket skulle minska behovet av biltransporter.²¹⁵ Distansteknik är inte nödvändigtvis beroende av satellittjänster då informationsöverföring också kan ske via markbundna bredbandsnät. Men vissa lösningar har tydliga rymdberoenden, som t.ex. fallet med drönare som navigerar via GNSS. I ett glesbygdsperspektiv handlar telemedicin och fjärrlösningar ytterst om att hantera en redan utmanande situation med långa avstånd till hälso- och sjukvård. Bortfall av en framtida fullt utbyggd tele- och fjärrmedicinsk struktur i glesbygd skulle orsaka försämrade tillgänglighet och tvinga fram en återgång till fler långväga transporter.

På ett större sjukhus tillkommer potentiellt andra typer av beroenden av rymdtjänster (förutom ovan nämnda grundläggande beroenden av samhällsviktiga tjänster). Exempelvis är alla tekniska system som har inbyggda beroenden av exakt tid via satellit känsliga för störningar. Ett område inom hälso- och sjukvården där korrekt spårbar tid och frekvens kan vara avgörande är avancerad medicinsk utrustning, som till exempel vissa typer av kamerautrustning eller biomedicinsk analysutrustning.²¹⁶ I vilken grad sådana tidsberoende system används inom hälso- och sjukvården är dock en fråga som skulle kräva mer ingående studier.

Generellt präglas sektorn hälso- och sjukvård starkt av den digitala teknikutvecklingen med satsningar och initiativ som handlar om att införa AI-baserade metoder, det ”smarta sjukhuset”, nya telemedicinska tillämpningar osv.²¹⁷ Eftersom denna digitala infrastruktur i många fall har inbyggda beroenden av olika slags rymdtjänster finns en uppenbar risk att sjukvården bygger in ökande beroenden till sådana tjänster. Ur ett riskperspektiv kommer den avgörande frågan att vara huruvida ett bortfall av rymdtjänsterna ”bara” kommer att orsaka effektivitetsförluster (som i fallet med precisionsodling i jordbruket, se nedan) eller om även mer kritiska funktioner kommer att upphöra att fungera. Denna fråga behöver dels studeras fördjupat med avseende på nya tillämpningar, dels bevakas över tid då teknikutvecklingen går snabbt samtidigt som drivkrafterna är stora att av kostnadsskäl effektivisera sjukvården.²¹⁸

7.1.4 Livsmedelsförsörjning och dricksvatten

Beredningssektorn Livsmedelsförsörjning och dricksvatten omfattar de viktiga samhällsfunktionerna primärproduktion av livsmedel och djurfoder, tillverkning, distribution och försäljning av livsmedel, tillagning i storkök av livsmedel, säkra

²¹⁵ Om Glesbygdsmedicinskt centrum i Storuman, se: Region Västerbotten 2021 & Region Västerbotten 2022. Om försöken med medicinska drönartransporter, se Västerbottens-kuriren 2021.

²¹⁶ Om 5G-nätens beroende av korrekt tid, se PTS 2022b.

²¹⁷ Ingemarsdotter et al. 2020.

²¹⁸ Ingemarsdotter et al. 2020.

livsmedel inklusive dricksvatten, smittskydd och säker destruktion, djurens hälso- och sjukvård, dricksvattenförsörjning, avlopp samt avfallshantering (i första hand kommunalt avfall).²¹⁹ Sektorn leds av Livsmedelsverket och de övriga myndigheter som ingår i sektorn är Länsstyrelserna, Naturvårdsverket, Statens jordbruksverk och Statens veterinärmedicinska anstalt.²²⁰ Verksamheten inom sektorn stöds idag både direkt och indirekt av olika slags rymdtjänster, och det finns exempel på hur användningen av dessa tjänster ökar.

Inledningsvis kan noteras att livsmedelssektorn är beroende av ett antal viktiga samhällsfunktioner, som el, transporter, drivmedelsförsörjning, betaltjänster och annan digital infrastruktur. Precis som i fallet med sektorn hälsa, vård och omsorg har livsmedelssektorn inbyggda beroenden i den mån dessa funktioner har det. Det finns också tillämpningar av rymdtjänster som är mer typiska eller unika för just livsmedelssektorn. Exempel på sådana ges i det följande (från primärproduktion till matbutik).

Inom jordbruket används idag olika slags rymdbaserade tekniska lösningar som syftar till att uppnå ökad precision i resursanvändningen. Till exempel finns utrustning för automatisk styrning av maskiner med RTK-GPS²²¹, det vill säga satellitpositionering med noggrannhet på en centimeter, vilket bland annat minskar förbrukningen av drivmedel samt växtskydds- och gödselmedel.²²² Målet är att spara pengar och minimera miljöpåverkan genom korrekta åtgärder i tid och rum (till exempel genom att bara gödsla där det behövs). Denna så kallade precisionsodling bygger bland annat på positionering via GNSS och tillgång till satellitbilder (se även avsnitt Försörjning av grunddata). Tekniken för precisionsodling har förfinats och blivit mer lönsam att använda under de senaste tjugo åren och anses idag ha passerat experimentstadiet.²²³ Generellt har digitaliseringen av jordbruket inneburit att en fungerande it-infrastruktur blivit allt viktigare för lantbrukaren, vilket alltså i ökande grad även inkluderar rymdtjänster.²²⁴

Konsekvenserna av störningar i de rymdtjänster som jordbruket idag använder sig av skulle innebära effektivitetsförluster och negativ miljöpåverkan. Att traktorer är självstyrande innebär dock inte att de slutar att fungera vid bortfall av rymdbaserad positionering (föraren kan fortfarande styra men exaktheten i styrningen förloras). Utvecklingen går samtidigt snabbt och precisionsodling genom ökad digitalisering kan skapa nya beroenden för jordbruket som potentiellt skulle

²¹⁹ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 242.

²²⁰ Förordning (2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

²²¹ Om RTK, som står för Real-Time Kinematic, se även Lantmäteriets översikt: Lantmäteriet, RTK, [https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/gps-geodesi-och-swepos/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/RTK/\[2022-11-14\]](https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/gps-geodesi-och-swepos/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/RTK/[2022-11-14]).

²²² Söderström 2012, s. 134.

²²³ Söderström 2012, s. 133. Redan i mitten av 1990-talet utrustades skördetröskor med GPS och system som successivt kunde mäta hur mycket spannmål som skördades.

²²⁴ Miljö- och jordbruksutskottets uppföljnings- och utvärderingsgrupp 2021, s. 60.

kunna utgöra mer kritiska sårbarheter.²²⁵ Ett exempel kan hämtas från Ukraina där nyhetsmedier under våren 2022 rapporterade om att stulna ukrainska traktorer och skördetröskor som bortförts av ryska trupper kunde fjärrlåsas via GPS av tillverkaren John Deere.²²⁶ I denna kontext framfördes historien som ett lyckat säkerhetsexempel men det är inte svårt att tänka sig en omvänd situation där ständigt uppkopplade maskinparker som vi själva använder plötsligt blir obrukbara genom att de hackats eller låsts genom fjärrstyrning.

Även på myndighetssidan finns drivkrafter mot ökad användning av rymdtjänster. Kopplat till det stöd till jordbruket som utgår från EU finns krav på kontroller av de jordbruk som erhåller stöd. Från och med 2023 kommer ett nytt regelverk att börja gälla kallat Area Monitoring System (AMS), på svenska arealövervakning eller markuppföljning. Systemet bygger på bilder från EU:s jordobservationssatellit Copernicus (främst Sentinel 2). Traditionella metoder för kontroller är fältbesök och flygfoton, men mot bakgrund av införandet av AMS kommer fältkontroller på sikt att minskas men troligen inte avskaffas helt. Även fältkontrollerna har ett rymdberoende genom att kontrollanterna förlitar sig på GNSS för att lokalisera den åker som ska besökas. Denna typ av beroenden är betydelsefulla för Jordbruksverkets verksamhet men utgör inte en kritisk sårbarhet för jordbruket i sig (såvida inte utbetalningar stoppas).²²⁷

Vad gäller tillverkning, distribution och försäljning av livsmedel finns exempel på inbäddade beroenden av rymdtjänster som inte nödvändigtvis är kända för alla inblandade aktörer. Exempelvis behövs korrekt tid inom processindustrin när något ska blandas (blandningen utgår inte från volym utan från tid). Om tiden störs kan det blandas för mycket eller för lite. Blandningen av ingredienser i livsmedelsprodukter är dock sannolikt inte beroende av tid på millisekundnivå.²²⁸ Exakt hur dessa beroenden ser ut har denna studie inte haft möjlighet att närmare kartlägga.

Försäljning av livsmedel kan också innehålla beroenden av rymdtjänster. I detta fall handlar det om hur betalsystemen är konstruerade. Köpcentra och marknadsplatser är beroende av att de digitala systemen fungerar som i sin tur är beroende av tid. Kassasystem som är beroende av tid via GNSS är direkt sårbara för störningar eller bortfall av denna tjänst.²²⁹ Med andra ord kan konsumenten få problem att köpa livsmedel vid ett bortfall av satellitbaserade tidsangivelser (såvida inte butiken har möjlighet att ta emot kontanter, en hantering som dock även den brukar vara beroende av att de digitala systemen fungerar).

²²⁵ Miljö- och jordbruksutskottets uppföljnings- och utvärderingsgrupp 2021, s. 82.

²²⁶ Markander 2022. Exemplet nämndes även i en intervju med personer verksamma vid MSB (2022-05-06).

²²⁷ Enligt intervjuer med personer verksamma vid Jordbruksverket (2022-03-24).

²²⁸ Enligt intervjuer med personer verksamma vid MSB (2022-05-06).

²²⁹ Enligt intervjuer med person verksam vid RISE (2022-04-22).

När det gäller dricksvatten kan jordobservation användas för att övervaka vatten-system. I Sverige görs dock bedömningen av vattentäkter på plats, dvs. vattenkvalitet bestäms inte i huvudsak med stöd av satellitdata. Satellitdata skulle där-
emot kunna ge indikatorer på om besök behöver göras men generellt används satellitbilder idag främst för storskaliga bilder på en mer analytisk, högre nivå.²³⁰

Sammanfattningsvis finns ökande beroenden av rymdtjänster framför allt inom jordbruket. Även om dessa sannolikt ännu inte är kritiska i meningen att verksamheten helt skulle stanna upp vid ett bortfall så innebär den ökande inte-
greringen av rymdberoende it-infrastruktur i jordbruket att nya risker och sårbar-
heter kan uppstå (jämför exemplet med de fjärrlåsta traktorerna). Även livsme-
delskedjan har idag inbyggda beroenden av rymdtjänster, bland annat vad gäller
butikers potentiella beroende av korrekt tid för betalsystemen. Indirekt finns i
livsmedelskedjan också ett beroende av att andra viktiga samhällsfunktioner
fungerar såsom el, kommunikationssystem och transporter, vilka i sin tur kan
vara i större eller mindre grad beroende av rymdtjänster.

7.1.5 Finansiella tjänster

Betänkandet Struktur för ökad motståndskraft (SOU 2021:25) identifierar att
finansiella tjänster såsom att förmedla betalningar, omvandla sparande till
finansiering samt finansiell riskhantering bör ingå i en beredskapssektor.²³¹
Regeringen har slagit fast att sektorn ska ledas av Finansinspektionen och att även
Riksgäldskontoret ingår i sektorn.²³²

I myndighetsrapporter och forskningslitteratur beskrivs ibland den finansiella
sektorn som ett område där rymdberoendet potentiellt kan vara utbrett och
allvarligt eftersom det finns mycket höga krav på noggrann tid för tidsstämpling
av transaktioner.²³³ Som en person som intervjuats i studien uttrycker det handlar
behovet av noggrann tid om att ett konto ska tömmas innan ett annat fylls på.²³⁴
Med dagens digitala handelssystem blir det därför oerhört viktigt att servrar hos
olika aktörer i sektorn är synkroniserade. Vid högfrekvenshandel med aktier
uppstår en risk för att tidsskillnader mellan servrar utnyttjas för att tjäna pengar.
Fördröjningar i överföringar kan vidare vara en indikation på någon hackat sig in
i systemet.²³⁵ Inom EU finns därför krav på att finansiella transaktioner ska
stämplas med en viss noggrannhet.²³⁶

²³⁰ Enligt intervjuer med person verksam vid HaV(2022-05-02).

²³¹ Utredning om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 230.

²³² Förordning (SFS 2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

²³³ Se exempelvis: MSB 2014, s. 9; Alexandersson et al. 2018, s. 20; Rymdstyrelsen 2015, s. 17-18;
Lindström & Hallgren 2021, s. 54-55.

²³⁴ Enligt intervju med en person verksam vid Rymdstyrelsen (2022-04-21).

²³⁵ Rymdstyrelsen 2015, s. 17-18.

²³⁶ European Security and Markets Authority 2017.

För ett par år sedan beskrev Rymdstyrelsen i en rapport hur börser, banker och tradingbolag har GNSS-antennerna monterade på taket.²³⁷ Exakt hur utbredd användningen av GNSS är idag inom sektorn är dock svårt att klarlägga, inte minst eftersom sektorn är internationell och består av ett stort antal privata aktörer. En person med teknisk kompetens inom tidshållning som intervjuats i studien menar att det finns några aktörer inom sektorn som själva indikerat att de använder andra metoder än GNSS för tidshållning.²³⁸ I studien har vi dock inte lyckats få tag på några förstahandsuppgifter som kan bekräfta detta. Att få en helhetsbild över sektorn är dessutom svårt. Det går dock att göra några andra nedslag med hjälp av de öppna källor som finns: som svar på en enkät som PTS skickade ut till ett antal myndigheter, rörande deras behov av robust och spårbar tid och frekvens via protokollet Precision Time Protocol (PTP)²³⁹, svarade Riksgäldskontoret att de i dagsläget inte hämtar tid direkt från satellitnavigeringssystem utan använder enbart Network Time Protocol (NTP).²⁴⁰

Vid två olika intervjutillfällen har intervjupersonerna resonerat om att det kanske inte är börser och banker som är mest sårbara för ett bortfall av rymdtjänster, utan att det snarare är privatpersoners vardagliga betalningar i kassan vid mataffären eller vid bensinstationen som utgör ett orosmoment.²⁴¹ Sådana kassor har också ett behov av noggrann tid, och eftersom PTP är en extra tjänst som aktörer behöver betala för är det troligtvis vanligare att tid inhämtas från tidsprotokollet NTP eller GNSS. Betalterminaler kopplas oftast upp mot telekomnätet, och därför finns ett beroende till beredskapssektorn Elektroniska kommunikationer och post.²⁴²

Eftersom kassasystemen kan se olika ut i samhället och det inte gjorts någon ordentlig inventering av dessa är det dock mycket svårt att generalisera. Den information som vi tagit del av i studien förblir därför något tvekydig. Ett bortfall av de digitala betalningstjänsterna skulle eventuellt kunna få långtgående konsekvenser för betalformågan i samhället, givet att kontanter numera är så sällsynta i Sverige, menar en intervjudeltagare.²⁴³

²³⁷ Rymdstyrelsen 2015, s. 17.

²³⁸ Enligt intervju med en person verksam vid RISE (2022-04-22). En annan person verksam vid MSB (2022-04-13) gör också bedömningen att det finns några aktörer som inte är beroende av GNSS för tidshållning.

²³⁹ Se Olofsson 2021, s. 7-14 för en teknisk beskrivning av dessa tjänster. I korthet beskrivs NTP och PTP på följande vis i rapporten: "NTP står för Network Time Protocol och är ett protokoll som går att använda över Internet för att synkronisera klockor. Noggrannheten är inte lika hög som vid användning av protokollet PTP. PTP står för Precision Time Protocol och är ett protokoll som används när behov av tid och frekvens med mycket hög noggrannhet krävs."

²⁴⁰ Olofsson 2021, Bilaga 1.

²⁴¹ Enligt intervju med personer verksamma vid RISE (2022-04-22) och MSB (2022-04-13).

²⁴² Enligt intervju med en person verksam vid RISE (2022-04-22).

²⁴³ Enligt intervju med en person verksam vid RISE (2022-04-22).

7.1.6 Transporter

Beredskapssektorn Transporter omfattar de viktiga samhällsfunktionerna lufttransporter (flygtrafiktjänst, flygplatser, operatörer), sjötransporter (sjötrafikinformation, hamnar, säkra sjövägar, operatörer), vägtransporter (vägtrafikledning, vägar, operatörer), järnvägstransporter (tågtrafikledning, järnvägar, resecentra, operatörer), kollektivtrafik (operatörer) samt terminaler (omlastning).²⁴⁴ Sektorn leds av Trafikverket och övriga myndigheter som ingår i sektorn är Luftfartsverket, Sjöfartsverket och Transportstyrelsen.²⁴⁵ Ett tydligt rymdberoende inom sektorn är navigation och positionering, men detta beroende ser något olika ut i de olika delområdena. Sektorn utgör en nyckelfunktion för att många andra viktiga funktioner ska fungera i samhället. Samtidigt finns också vissa korsberoenden. Till exempel behövs finansiella tjänster för att transportsystemet ska fungera med avseende på biljetter och bokningar liksom betalning av frakt, tullar och drivmedel. Transportsektorn är också beroende av elförsörjning och energiförsörjning (drivmedel). I transportsektorn finns också behov av meteorologisk data.

Väg- och tågtrafik

Användningen av positionerings- och navigeringstjänster är idag utbrett inom vägtransporter, såväl bland privatpersoner och kommersiell trafik (godstrafik) som inom kollektivtrafik och offentlig service (t.ex. hemtjänsten). Vilka samhällsviktiga verksamheter som nyttjar GNSS för navigering i vanliga bilar kan det finnas anledning att undersöka närmare, men klart är att många yrkesområden i praktiken har ett rymdberoende för sin navigering. Trenden är också att beroendena ökar, både genom användning av befintlig teknik men också genom att forskning och utveckling pågår som syftar till att förfinas eller hitta nya användningsområden för rymdtjänster i trafiken (till exempel genom att utveckla ”smarta” transportsystem).²⁴⁶ Exempelvis används positionering flitigt i lastbilsbranschen för att veta var lastbilar befinner sig. För att optimera logistik eller trafikanters navigering sker också satsningar på olika slags rymdtjänstbaserade informationssystem.²⁴⁷

Ett ytterligare beroende som har beröring till vägtrafikområdet handlar om användningen av Swepos, dvs. stödsystemet för satellitpositionering i Sverige, som används inom bygg- och anläggning och förrättningsarbete (vilket beskrivs närmare i avsnittet Försörjning av grunddata).

Vad gäller trafik på järnväg har beroendet av rymdinfrastruktur hitintills varit litet men detta kan vara på väg att ändras. Europeiska kommissionen har tagit

²⁴⁴ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 256.

²⁴⁵ Förordning (2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

²⁴⁶ Till exempel GNSS-baserade lösningar för elektroniska vägskyltar, eller vägtullar, se: Abrahamson 2014, eller GNSS-baserad så kallad geofencing, se: Smart City Sweden, *Geofencing*: <https://smartcitysweden.com/focus-areas/mobility/geofencing/> [2022-11-13].

²⁴⁷ För trafikanter finns idag flertalet appar för väganvisningar i realtid som fungerar med stöd av GNSS.

fram en arbetsplan som syftar till att digitalisera och på olika sätt utveckla ERTMS, det europeiska tågövervakningssystemet.²⁴⁸ Bland de nya teknologier som diskuteras beskrivs satellitpositionering som en ”game changer” för branschen och som en viktig del av framtida standardiseringsprojekt (Technological Specifications for Interoperability, TSI) liksom för utvecklingen av så kallade virtuella baliser.²⁴⁹ Indirekt finns redan idag beroenden av rymdtjänster för tågtrafik genom att även denna del av transportsystemet är beroende av (bland annat) ett fungerande affärssegment (betaltjänster) och energiförsörjning. Däremot har inte (så vitt denna studie erfarit) tågtrafikledning i Sverige för närvarande några direkta rymdinfrastrukturberoenden.²⁵⁰

Sjöfart

Sjöfarten beskrivs ibland som ett transportslag som inte skulle fungera överhuvudtaget utan satellitbaserad navigering och positionering.²⁵¹ Rent tekniskt stämmer inte detta då sjöfarten har flera sätt att navigera på.²⁵² Krav finns också på att personal ska vara utbildade på flera system.²⁵³ Fartyg skulle med andra ord kunna navigera hjälpligt och ta sig in till hamn även utan satellitstöd, om än med mindre precision och bekvämlighet. En förutsättning för detta är dock att personalens utbildning och kompetens upprätthålls inom traditionell navigering. Det bör också understrykas att konsekvenserna globalt sett snabbt skulle bli allvarliga för sjöfarten vid bortfall av satellitstöd. Med behov av större felmarginaler mellan båtar skulle ledtiderna i många fall öka kraftigt. Särskilt besvärligt skulle det kunna bli vid Panama- och Suezkanalerna där hög precision är nödvändig för att lotsa igenom den stora mängd fartyg som passerar genom dessa trånga sund, menar några intervjudeltagare.²⁵⁴

Sjöfarten har också stora rymd- och cyberberoenden genom sin ökade integrering med logistik- och affärssegmentet. Om fartyg förr var isolerade transportkärl till sjöss utgör de idag i praktiken flytande kontor som är sammankopplade med stora mängder information kopplade till olika affärs- och logistiksystem. Detta innebär också att beroendet av tid och takt för handelsinriktad sjöfart kan vara större än vad man tror.²⁵⁵ Systemet med *lean supply chains* och *just in time* bygger på exakt planering och vetskap om var godset finns, lagerstatus (in och ut) och så vidare. Kontainrar är i många fall taggade, det vill säga märkta med GNSS-baserad teknik som gör att de går att följa, givet att satellitstödet fungerar. Vid

²⁴⁸ Dvs. European Railway Traffic Management System. Om detta initiativ, se pressmeddelande från European Union Agency for the Space Programme 2020.

²⁴⁹ EUSPA 2020. För GPS-beroenden i tågsektorn, se även Wallischeck 2016.

²⁵⁰ Enligt intervju med en person verksam vid Trafikverket (2022-05-16).

²⁵¹ Morris 2021.

²⁵² Till exempel med stöd av VHF, radar och radiokommunikation. I hamnar är förtöjningen alltid manuell, berättar en person verksam vid Sjöfartsverket (2022-04-11).

²⁵³ Enligt intervju med person verksam inom RNN (2022-03-16).

²⁵⁴ Enligt intervju med personer verksamma vid MSB (2022-05-06).

²⁵⁵ Enligt intervju med personer verksamma vid MSB (2022-05-06) och RNN (2022-03-16).

förlust av rymdsegmentet skulle det enligt bedömning i dagsläget bli svårt att upprätthålla handelssjöfarten.²⁵⁶

Även tjänster för jordobservation används inom sjöfarten. Till exempel använder sig Sjöfartsverket av satellitbilder för att hjälpa handelsfartyg att navigera i Norra Kvarken under vintertid, eftersom området utgör en smal och farlig farled med mycket is och hårda vindar. Sjöfartsverkets isbrytare eskorterar också ibland fartyg. Dock används även helikoptrar för rekognosering och alla isbrytare har en helikopterplatta, så det finns alltså alternativa metoder för att leda fartygen.²⁵⁷

Flygtrafik

Flygtrafiken har olika typer av rymdberoenden (främst GNSS) samtidigt som det också, precis som i sjöfarten, finns flera tekniska alternativ. Stora flygplatser förlitar sig till exempel inte enbart på GNSS, men däremot används satellitbaserade system för att förbättra precisionen, exempelvis vid inflygningar.²⁵⁸ I Sverige används satellitsystemet EGNOS (baserat på Galileo) som minskar positionsavvikelser från 6 meter till ca 1-2 meter.²⁵⁹ Systemet innebär också miljömässiga besparingar genom att bränsleanvändningen kan reduceras.²⁶⁰ Små flygplatser har dock i många fall bara GNSS-baserade lösningar som inflygningssystem.²⁶¹

I princip alla moderna civila flygplan har GPS-sändare och GPS är den huvudsakliga navigeringsmetoden.²⁶² För kommunikation i luften används i flygplan satellitkommunikation. Det gäller (i prioriteringsordning) säkerhetskommunikation, bolagskommunikation och wifi för passagerarna. När flygplan är utanför radarledd flygtrafikledning kan sådan ledning ske via satellit genom textmeddelanden. Detta system har ersatt positionsrapportering via kortvåg men flygplan måste fortfarande vara utrustade med kortvågsradio (och får alltså inte lämna radarkontrollerat luftrum utan radio).²⁶³

Sammanfattningsvis har alla transportsystem (och därmed försörjningskedjor) erfarit stora fördelar av att använda positionerings- och navigationsteknik via GNSS. Störningar i dessa rymdbaserade tjänster skulle därmed medföra omfattande påverkan på transportsektorn, om än på olika sätt inom olika trafikslag.²⁶⁴

²⁵⁶ Enligt intervju med personer verksamma vid MSB (2022-05-06) och RNN (2022-03-16).

²⁵⁷ Enligt intervju med personer verksamma vid Sjöfartsverket (2022-04-11) och Rymdstyrelsen (2022-05-04).

²⁵⁸ Detta kallas Satellite-Based Augmentation System (SBAS). Detta är något som exempelvis flyfts under intervju med personer verksamma vid MSB (2022-05-06) och Lantmäteriet (2022-05-17).

²⁵⁹ EGNOS tar ner signal från GNSS och jämför med annan signal för att därefter göra en korrigering.

²⁶⁰ Rymdstyrelsen 2015, s. 25-26.

²⁶¹ Enligt intervju med personer verksamma vid RNN (2022-03-16), MSB (2022-04-13) och MSB (2022-05-06).

²⁶² Wallischeck 2016.

²⁶³ Enligt intervju med person verksam vid RNN (2022-03-16).

²⁶⁴ Government Office for Science 2018, s. 4

7.1.7 Energiförsörjning

Myndigheterna som ingår i beredskapssektorn Energiförsörjning ska verka för att förmågan att producera och distribuera energi upprätthålls, att elhandeln fungerar, att drivmedel och bränsle lagras i enlighet med satta mål, och att samhällsviktiga verksamheter har tillgång till reservkraft.²⁶⁵ Sektorn leds av Energimyndigheten och de övriga myndigheter som ingår är Affärsverket Svenska kraftnät, Energimarknadsinspektionen och Strålsäkerhetsmyndigheten.²⁶⁶

Det moderna svenska samhället är mycket beroende av en fungerande energiförsörjning. I händelse av störning eller bortfall i denna samhällsviktiga funktion finns därför en stor risk för att konsekvenserna sprider sig till andra sektorer. Detta är en faktor som gör det särskilt angeläget att förstå i vilken mån det finns rymdberoenden i energisektorn. Som inledning till detta avsnitt är det därför värt att påminna om att den här studien endast ger en översiktlig bild av samhällets rymdberoenden, och att kritiska beroenden inte kommer att pekas ut.

Tidshållningen i elnätet

I myndighetsrapporter och forskningslitteratur citeras ofta energiförsörjningen som ett exempel på en samhällsfunktion där det finns ett stort rymdberoende, eftersom det behövs en mycket noggrann tid för kontrollutrustningen i elnät, och eftersom GNSS är en billig metod för noggrann tidshållning.²⁶⁷ Frågan är alltså i vilken mån GNSS används för tids- och frekvenshållning i elnäten i Sverige idag. På uppdrag av MSB genomförde FOI under 2015 en studie där behovet av noggrann tid i elnätet undersöktes. Då konstaterades att: ”Svenska kraftnäts utrustning i stationer använder i dagsläget i stor utsträckning tidssynkronisering med hjälp av GPS (det enda GNSS som används).”²⁶⁸ Vid tidpunkten för studiens genomförande bedömdes dock att den utrustning som ställer högst krav på noggrann tid inte var systemkritisk i stamnätet. Användningen av sådan utrustning var inte heller särskilt utbredd, varför en eventuell förlust av noggrann tid endast väntades få lindriga konsekvenser. Under de sju år som gått sedan den studien genomfördes har dock en del hänt inom energisektorn, som gör att bilden verkar ha förändrats.

Dels har medvetandet om problemen med GNSS-beroenden i viss mån ökat på senare tid. Ett konkret exempel på detta är att regeringen gav PTS i uppdrag att utreda förutsättningarna för att tillgängliggöra det nationella systemet för spårbar tid och frekvens för relevanta aktörer, som är ett alternativt till tidshållning via GNSS.²⁶⁹ I korthet är det en markbunden infrastruktur för distribution av tidsprotokollet PTP (Precision Time Protocol). I sitt svar till regeringen föreslog PTS

²⁶⁵ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 226.

²⁶⁶ Förordning (2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

²⁶⁷ Se exempelvis: Government Office for Science 2018; Rymdstyrelsen 2015 & Europeiska kommissionen & PWC 2017.

²⁶⁸ Hedtjärn Swaling 2015, s. 22.

²⁶⁹ Olofsson 2021.

att alla aktörer som är i behov av tjänsten ska få ansluta sig till konkurrensneutrala villkor. PTS inventerade behoven av tjänsten i samband med regeringsuppdraget och då angav Svenska kraftnät att man hade behov av PTP-tjänsten av redundansskäl. Idag är det ett 40-tal aktörer som anslutit sig, däribland aktörer inom energisektorn.²⁷⁰ Eftersom det framför allt är privata aktörer som står för kärnverksamheten i energisektorn är det intressant att notera att såväl privata som offentliga aktörer har möjlighet att ansluta sig till tjänsten.²⁷¹ Det finns alltså inga juridiska hinder för dem att ansluta sig till PTP, men däremot är det en tjänst de kan behöva betala för (se vidare avsnitt 7.1.8.).

Svenska kraftnät äger och förvaltar ett eget landsomfattande fiberoptiskt nät, vilket skapar ytterligare möjligheter till redundans. Svenska kraftnät använder själva detta kommunikationsnät för drift och övervakning, och hyr ut ledig kapacitet till andra aktörer, såsom kraftbolag.²⁷²

I FOI:s studie om beroendet av noggrann tid i elsystemet från 2015 drar författaren slutsatsen att behovet av noggrann tid inom energisektorn troligtvis var på väg att öka. En anledning till detta var utbyggnaden av ”smarta elnät”. När PTS ett par år senare inventerade behoven av tillgång till den nationella tjänsten för noggrann tid och frekvens kom de fram till en liknande slutsats: Noggrann tid och frekvens blir allt viktigare i en mer decentraliserad energiförsörjning med ökade inslag av icke-planerbar produktion. En liknande betraktelse görs även av en intervjudeltagare.²⁷³ Sammantaget kan man alltså konstatera att noggrann tid har eller är på väg att bli en mer kritisk funktion i sektorn, vilket rimligtvis innebär att eventuella rymdberoenden blir desto allvarligare.

Frågan om tillgång till noggrann tid i energisektorn bör sättas i ett internationellt perspektiv. Sverige är en del av en avreglerad europeisk elmarknad och den fysiska infrastrukturen är ihopkopplad med andra länder. I den mån andra länder använder sig av GNSS för tidshållning i sina elnät är det något som potentiellt kan få konsekvenser för det svenska samhället. Att göra en analys av rymdberoenden i andra länders energisystem är emellertid en alldeles för omfattande uppgift för den här studien, och det är tveksamt om det går att få en detaljerad inblick i något som kan utgöra sårbarheter i andra länders kritiska infrastruktur. Den här studien kan därför inte göra mer än att notera att Sverige är integrerat med omvärlden, och att kriser kan sprida sig över nationsgränser.

²⁷⁰ Enligt skriftliga underlag från en person verksam vid PTS. Det går inte utifrån den här studiens resultat att dra några entydiga slutsatser om huruvida 40 aktörer är en stor eller liten mängd, eller om den ska bedömas spegla en tillräcklig nivå av samhällelig redundans. För att göra en sådan bedömning krävs informationsinhämtning med andra krav på säkerhetsskydd.

²⁷¹ Enligt skriftliga underlag från en person verksam vid PTS.

²⁷² Svenska kraftnät 2020. En person verksam vid RISE nämner även detta nät under intervju (2022-04-22).

²⁷³ Enligt intervju genomförd med en person verksam vid SvK (2022-09-16). I skriftlig information inhämtad från PTS nämns detta också.

Satellitkommunikation inom energisektorn

Under intervjuerna har det framkommit exempel på hur satellitkommunikation kan användas inom energisektorn. Exempelvis använder vissa elnätsbolag satellittelefoni som redundant kommunikationskanal.²⁷⁴ Ett annat exempel kommer från vindkraftsbranschen: ofta lokaliseras vindkraftverk i glesbygd eller till havs för att minska störning för omgivningen.²⁷⁵ Detta innebär att de ibland befinner sig utom räckvidd för traditionella metoder för talkommunikation och dataöverföring, och då kan satellitkommunikation vara ett alternativ. Att det finns risker med detta blev tydligt i och med Rysslands anfallskrig i Ukraina. En timme innan anfallet påbörjades den 24 februari 2022 så hackades det amerikanska företaget Viasat, som levererar satellitkommunikationstjänster till globala kunder. En oväntad konsekvens av detta var att det tyska energiföretaget Enercom förlorade sin förmåga att fjärrstyra 5,800 vindkraftverk, eftersom företaget använde sig av Viasats satellittjänster.²⁷⁶ Enligt amerikanska och brittiska underrättelseuppgifter var det Ryssland som låg bakom hackerattacken, som tros ha varit riktat mot den ukrainska militären.²⁷⁷ Exakt hur det svenska beroendet av satellitkommunikation ser ut inom vindkraftbranschen har vi inga specifika uppgifter om, men vad exemplet visar är framför allt hur svårt det är att överblicka beroenden och hur konsekvenser kan sprida sig över nationsgränser.

Meteorologisk data inom energisektorn

Av det som sagts under intervjuerna framgår även att energisektorn har ett beroende av meteorologisk data. Eftersom merparten av meteorologisk data numera inhämtas från satelliter är detta också att klassa som en form av rymdberoende. Information om nederbörd, snösmältning och förväntade vattenflöden är exempelvis viktigt för vattenkraftsproducenter att beakta vid den dagliga driften av en anläggning.²⁷⁸ Meteorologisk data kan även hjälpa till att optimera driften av vindkraftverk.²⁷⁹ Höga temperaturer i floder och hav kan vara ett problem för kylningen av kärnkraftverk, som i sådana situationer kan tvingas dra ner på elproduktionen. Detta hände exempelvis i Frankrike till följd av extremhettan som rådde i Europa under sommaren 2022.²⁸⁰ Meteorologisk data används även av elhandelsbolagen för att prognostisera hur stor elförbrukningen kommer att vara för kommande dygn. En bristande prognos kan ge stora kostnader för obalanser för företagen.²⁸¹

²⁷⁴ Enligt skriftlig information från en person verksam vid SvK.

²⁷⁵ För mer information om vad som påverkar lokaliseringen av vindkraft, se: Odell et al. 2022.

²⁷⁶ Stupp 2022.

²⁷⁷ Foreign, Commonwealth and Development Office, u.å.

²⁷⁸ Enligt intervju med personer verksamma vid SMHI (2022-03-25).

²⁷⁹ Enligt intervju med personer verksamma vid SMHI (2022-03-25).

²⁸⁰ TT-AFP 2022.

²⁸¹ Enligt information inhämtad skriftligen från SvK.

Dessutom är det – i linje med vad som sagts under intervjuerna – troligtvis rimligt att betrakta vädervarningar som en kritisk funktion för samhället. En vanlig anledning till att det uppstår störningar i elförsörjningen är stormar och andra typer av extremväder, så förmågan att förutse och förvarna om detta har tydlig bäring på samhällets säkerhet. Kunskap om var det pågår åskväder kan även hjälpa driftoperatörer att bedöma om det är säkert att för dem att koppla in ledningar som lösts ut. Om operatören har en tydlig indikering av orsaken, i detta fall åska, kan en tidsomfattande besiktning undvikas innan provinkoppling av ledningen sker.²⁸²

Elhandel

Elhandeln är identifierad som en samhällsviktig funktion i utredningen Struktur för ökad motståndskraft (SOU 2021:25). Elhandeln utgör en viktig mekanism för att kompensera för obalanser i elnätet, exempelvis sådana som kan vara orsakade av solstormar, enligt en person som intervjuats i studien.²⁸³ I den mån det finns rymdberoenden inom den finansiella sektorn (detta går inte att klarlägga inom ramen för den här studien) så är detta något som därför även kan påverka elhandeln. Skulle elhandeln inte fungera under en kortare period finns det kontinuitetsplaner där t.ex. marknadens aktörer kan använda senast kända marknadsutfall vilket lindrar konsekvenserna. Därför skulle det troligtvis dröja innan en eventuell störning i elhandeln skulle leda till allvarliga samhällskonsekvenser, men finansiellt kan konsekvenserna bli stora.²⁸⁴

Rymdväder och energisektorn

Rymdväder kan utgöra ett hot mot energiförsörjningen (se kapitel 5.2). Det hotet handlar dock mer om att det finns komponenter i den fysiska infrastrukturen som är sårbar för jordmagnetiskt inducerade strömmar (GIC), än att samhället byggt in sig i ett beroende av rymdbaserade teknologier. Trots att det inte utgör ett regelrätt rymdberoende har vi bedömt att det är värt att inkludera information om detta, eftersom det är en så pass närbesläktad fråga. Om man analyserar rymdberoenden i flera led går det dessutom att finna kopplingar mellan förmågan att hantera rymdväder och tillgång till en fungerande rymdinfrastruktur: Mätningar gjorda från satelliter är till exempel en viktig informationskälla för att ta fram rymdvädervarningar. En kort orientering i frågan anses därför vara motiverad.

De som ansvarar för driften av stamnätet i Sverige får in rymdvädervarningar från SMHI (som i sin tur får sin information från de nationella brittiska och amerikanska väderorganisationerna). Geomagnetiska stormar graderas på en skala 1-5 och driftoperatörerna har en manual för att veta hur de ska agera vid varje nivå.²⁸⁵

²⁸² Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

²⁸³ Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

²⁸⁴ Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

²⁸⁵ Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

Vid hög solaktivitet kan ledningar koppla ur, och då måste personen i kontrollrummet veta om det är säkert att koppla in den igen. För att försäkra sig om att det är säkert att koppla in ledningen kan man behöva åka ut för att inspektera ledningen på plats, med personal på marken eller i helikopter. Detta för att man ska kunna försäkra sig om att ledningen inte kopplade ur av någon anledning som operatören inte känner till (ett exempel som nämns är att fallskärmshoppare skulle kunna ha fastnat i ledningen). Eftersom det kan krävas en inspektion på plats kan det ta några timmar att koppla in ledningen igen. Stamnätet klarar dock en bortkoppling av en ledning i ett par timmar, så kunden märker inte nödvändigtvis av detta.²⁸⁶

En annan sak som kan hända vid hög solaktivitet är att transformatorer blir skadade. Det krävs dock väldigt mycket för att skadan ska bli permanent, och redan 2012 rapporterade Svenska kraftnät att de hade bytt ut 67 procent av det stamnätsanslutna transformatorbeståndet till den modell som är mest tålig mot jordmagnetiskt inducerade strömmar.²⁸⁷ Vi har inte fått fram någon uppdaterad siffra för hur detta ser ut idag, och en person som intervjuats i studien noterar att det kan vara dags för en ny översyn för att öka kunskapen om hur robustheten ser ut.²⁸⁸

Vidare finns det ett antal saker som personen i kontrollrummet kan göra om det kommer in en rymdvädervarning och det finns risk för att elnätet kan skadas. Det handlar i grund och botten om att parera på något sätt. Vid en riktigt allvarlig rymdvädervarning vore det exempelvis möjligt att sänka överföringen mellan norra och södra Sverige, så att man har några extra megawatt (MW) marginal som ger möjlighet att hantera störningen. Driftoperatörer arbetar löpande med att parera olika typer av störningar i elnätet, så detta är det normala sättet att arbeta på. Ibland kan det handla om att driftoperatören får ringa upp elproducenter och be dem öka produktionen för att nätet ska kunna balanseras.²⁸⁹

Det finns givetvis vissa scenarier som kan vara mer utmanande än andra att hantera. Det skulle kunna handla om två störningar som inträffar simultant men oberoende av varandra, eller en så kallad Carrington-händelse. Under intervju poängteras att förmågan att hantera en ovanlig händelse som en solstorm av Carrington-magnitud är avhängig förmågan att snabbt starta igång krisorganisationen, få ut information till allmänheten, och att operatörer kan kommunicera med elproducenter för den operativa hanteringen av händelsen.²⁹⁰

²⁸⁶ Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

²⁸⁷ Svenska kraftnät 2012, s. 7.

²⁸⁸ Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

²⁸⁹ Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

²⁹⁰ Enligt intervju genomförd men en person verksam vid SvK (2022-09-16).

7.1.8 Elektroniska kommunikationer och post

Beredskapssektorn Elektroniska kommunikationer och post omfattar enligt utredning om civilt försvar de viktiga samhällsfunktionerna bärartjänster²⁹¹, grundläggande system för kommunikation i näten, bärande infrastruktur för elektronisk kommunikation, tillhörande fysisk infrastruktur, spårbar tid och frekvens samt förmedling av brev och paket.²⁹² Sektorn leds av Post- och telestyrelsen och de övriga myndigheter som ingår i sektorn är Affärsverket svenska kraftnät, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap och Trafikverket.²⁹³ I det följande beskrivs främst områdena spårbar tid och frekvens, samt mobil kommunikation.

Många viktiga samhällsfunktioner, offentliga såväl som privata, har inbyggda beroenden av noggrann tid och frekvens. Det kan handla om alltifrån styrsystem för vattenrening och drift av nätet för elförsörjningen till finansiella system och kommunikationssystem.²⁹⁴ Som MSB konstaterade i rapporten *Vikten av var och när* år 2014 kan många system och tjänster inte fungera normalt vid bortfall av sådan data.²⁹⁵ MSB noterade också att det tycks vara svårt för aktörer att veta exakt hur beroende man är av position, navigation och tidsdata (PNT) liksom att bedöma vilka konsekvenserna blir vid ett bortfall, samtidigt som dessa konsekvenser kan vara omfattande.²⁹⁶ Det ökande beroendet av PNT beskrev MSB som ”problematiskt”.

Korrekt tid kan erhållas på olika sätt, inklusive via markbundna system, och behöver alltså inte vara GNSS-beroende. Men enkelheten och den låga prisbilden har gjort att en mycket vanlig metod att tid- och/eller frekvenssynkronisera ett tekniskt system är att använda GNSS, vilket konstaterades redan år 2007 i en utredning beställd av Näringsdepartementet.²⁹⁷ Samma utredning konstaterade också att enkelheten utgjorde en svaghet ur ett robusthetsperspektiv i och med det ensidiga beroendet av en och samma teknik, liksom det faktum att samtliga GNSS-system inklusive GPS och Galileo, är radiobaserade metoder som i praktiken saknar fungerande skydd mot störning, såväl oavsiktlig som avsiktlig.²⁹⁸

²⁹¹ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 222. Bärartjänster omfattar enligt utredningen fasta uppkopplingstjänster, mobiltelefoni samt Rakel, grundläggande system för kommunikation i näten (DNS, signalering etc.), bärande infrastruktur för elektronisk kommunikation (omfattar stomnät och accessnät – mobila och fasta) och tillhörande fysisk infrastruktur (omfattar grundläggande infrastruktur, t.ex. fiber, kanalisation, master, utrustningsnoder, datahallar, bergum) samt aktiv utrustning (utplacerad i den grundläggande infrastrukturen, exempelvis routrar och servrar).

²⁹² Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 222.

²⁹³ Förordning (2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

²⁹⁴ MSB 2014, s. 5.

²⁹⁵ MSB 2014.

²⁹⁶ MSB 2014. Detta framkom i svaren på MSB:s GNSS-scenario som myndigheterna fick ta ställning till i risk- och sårbarhetsanalysen för 2014.

²⁹⁷ Utredningen om legal metrologi, tid och frekvens samt riksmätplatser 2007.

²⁹⁸ Utredningen om legal metrologi, tid och frekvens samt riksmätplatser 2007, s. 18.

Riskerna med att förlita sig enbart på GNSS-baserad tidsangivelse i kritiska system har fått flera länder att satsa på egna markbaserade system för korrekt tid. En brittisk rapport konstaterar att ett storskaligt bortfall av GNSS-tjänster skulle innebära risker för människors liv och hälsa liksom en stor påfrestning för Storbritanniens ekonomi (enligt officiella uppgifter skulle ett bortfall av GNSS kosta Storbritannien uppemot en miljard GBP per dygn).²⁹⁹ Av dessa anledningar har Storbritannien beslutat att satsa 36 miljoner GBP på att bygga upp ett landbaserat system för produktion och distribution av spårbar tid och frekvens över fibernätverk. Systemet är tänkt att erbjuda ett robust alternativ till GNSS.³⁰⁰

I Sverige ansvarar Post- och telestyrelsen (PTS) sedan 2010 för ett nationellt system för robust och spårbar tid och frekvens.³⁰¹ Detta system är markbundet och är alltså inte GNSS-baserat.³⁰² Systemet levererar tid med den noggrannhet som krävs för exempelvis banktransaktioner, produktion av vindkraft och kommunikation i 5G-näten. Företaget Netnod AB har fått uppdraget att förvalta systemet, ett uppdrag som löper på tre år, till och med 2024.³⁰³ Det nationella systemet innebär att Sverige inte behöver förlita sig på tidkällor som är lätta att störa ut eller som står under andra länders kontroll. Dock är inte systemet automatiskt tillgängligt för alla aktörer som kan tänkas behöva det. Regeringen gav därför den 25 juni 2020 i uppdrag till PTS att utreda förutsättningar för att tillgängliggöra det nationella systemet för produktion och distribution av robust och spårbar tid och frekvens för relevanta aktörer.³⁰⁴ PTS utredning visar att behovet av denna nationella tjänst är stort och kommer öka över tid i samhället. Myndigheten föreslår att samtliga aktörer som är i behov av tid och frekvens via uppkopplingar som har högre noggrannhet än vad tidshämtning över det öppna internet kan ge, ska ges möjlighet att ansluta sig till systemet till konkurrensneutrala villkor.³⁰⁵ När det gäller kommersiella aktörers behov av korrekt tid finns alltså inga juridiska hinder för dem att ansluta sig till det nationella systemet men företagen gör emellertid sina egna avvägningar.³⁰⁶

²⁹⁹ Vilket redovisas i Olofsson 2021, s. 10-11. I PTS rapport tas även Italien upp som ett exempel.

³⁰⁰ Olofsson 2021, s. 11.

³⁰¹ Se PTS 2022b. Det nationella systemets tekniska uppbyggnad finns redovisat i Olofsson 2021.

³⁰² Dock finns ett visst beroende av satellitbaserad teknologi, eftersom systemet använder sig av GNSS Common View för att synkronisera de ingående klockorna internt. Denna synkronisering pågår kontinuerligt, men vid storskaligt bortfall av GNSS ställer PTS som krav att systemet ska upprätthålla godtagbar precision och stabilitet i minst 90 dagar, utan tillgång till extern synkronisering.

³⁰³ PTS 2022b.

³⁰⁴ Med begreppet "aktörer" förstås samtliga som har behov av noggrann tid och frekvens distribuerad över land, d.v.s. både offentliga och privata aktörer. Det kan handla om aktörer inom försvars-, bank och finans- samt energisektorerna men dialoger förs också med ett större antal kunder.

³⁰⁵ Olofsson 2021, s. 5.

³⁰⁶ Enligt skriftligt underlag inhämtat från en person verksam vid PTS.

Införandet av Galileo PRS (EU:s krypterade satellittjänst för myndigheter) bedöms inte kunna ersätta markbunden backup, då PRS i stort sett har samma svagheter som övrig tidhämtning via GNSS har, d.v.s. signalerna är känsliga för att störas ut.³⁰⁷

För framtiden görs bedömningen att samhällets behov av spårbar tid och frekvens med all säkerhet kommer att öka.³⁰⁸ Detta gäller särskilt energisektorn som genomgår en snabb utveckling, bland annat vad gäller produktion från t.ex. solpaneler.³⁰⁹ Men även exempelvis avancerad medicinsk utrustning, framtida tillverkningsprocesser och distribution av varor och tjänster uppges sannolikt i allt högre grad behöva korrekt tid för att systemen ska fungera. Ett ytterligare område handlar om utvecklingen av de mobila kommunikationssystemen. I en nyhet publicerad av PTS i början på 2022 konstaterades att ”5G-näten klarar sig inte utan exakt tid”³¹⁰. Exakt hur stort beroendet av exakt tid är hos 5G-näten är en teknisk fråga men klart står att kapaciteten och överföringskvaliteten i de framtida 5G-näten är beroende av att basstationerna har tillgång till rätt tid från en gemensam källa.³¹¹

Området mobil kommunikation och telekom framstår överhuvudtaget som ett område som behöver följas närmare ur ett resiliensperspektiv. Inom Nato är resilienta civila kommunikationssystem en av sju civila förmågor som bedöms göra ett land mer civilt resiliert (motståndskraftigt).³¹² Olika länder tycks dock ha gjort olika tekniska vägval: Telekomindustrin i Storbritannien har exempelvis inte använt sig av GPS i de mobila basstationerna (vilket den amerikanska industrin har gjort), men enligt en brittisk rapport finns en oro att framtidens 5G-lösningar kommer att använda GNSS som en frekvenskälla utan backup vid mobila basstationer, i syfte att spara pengar. Beroende på applikation och implementation kan därmed konsekvensen av en störning i GNSS bli alltifrån irriterande till katastrofal.³¹³

Vad gäller internetuppkoppling är detta än så länge allra oftast inte satellitbaserat i Sverige, konstaterar en intervjudeltagare.³¹⁴ Däremot gör en annan intervjudeltagare bedömningen att det kan bli vanligare med satellitbaserad internetuppkoppling i framtiden.³¹⁵ PTS skriver i en rapport ”att satellitlösningar kommer att vara avgörande för att nå regeringens bredbandmål för 2025 avseende delmålen

³⁰⁷ Enligt skriftligt underlag inhämtat från en person verksam vid PTS.

³⁰⁸ Enligt skriftligt underlag inhämtat från en person verksam vid PTS.

³⁰⁹ Noggrann frekvens är även väldigt viktigt för överföringsnäten för el.

³¹⁰ PTS 2022b.

³¹¹ PTS 2022b.

³¹² Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 223.

³¹³ Government Office for Science 2018, s. 35: ”Depending on the application and its implementation, the impact of a threat to GNSS may then be anywhere on a scale of inconvenient to catastrophic. Telecoms exchanges, base stations and data centres are static, and so make relatively easy targets for jamming or spoofing”.

³¹⁴ Enligt intervju med en person verksam vid Rymdstyrelsen (2022-04-21).

³¹⁵ Enligt intervju med en person verksam vid PTS (2022-04-11).

om 30 och 100 Mbit/s.”³¹⁶ Det handlar om ”att nå de sista procenten” i Sverige, alltså de kunder som befinner sig i områden där det beräknas bli mycket dyrt att bygga ut fibernätet. I nuläget är det alltså om en ganska liten andel av befolkningen som kommer vara beroende av rymden för internetuppkoppling.

Slutligen kan något nämnas om de satellitberoenden som finns hos Sveriges Radio som har ett särskilt uppdrag att kunna förmedla information till allmänheten vid kris eller krig.³¹⁷ Till att börja med kan noteras att distribution av radiotjänster inte bygger på satellitanvändning, utan detta är en markbunden tjänst.³¹⁸ Skulle det markbundna systemet av någon anledning slås ut blir däremot satellitkommunikation en viktig backup-lösning. Sveriges Radio använder också redan i normala förhållanden ett antal satellitbilar för att exempelvis kunna sända från avlägsna platser. Som påpekas i intervju är det viktigt att upprätthålla kompetensen på dessa system genom att utbilda ny personal och säkerställa att satellitbilarna används regelbundet.³¹⁹ För Sveriges Radios del fungerar med andra ord satellitkommunikation alltså mer som en backup-lösning än ett beroende i sig.

Sammanfattningsvis kan konstateras att medvetenheten finns om att samhället har blivit alltmer beroende av tillgång till korrekt tid och frekvens samt att denna data ofta hämtas via GNSS. Samtidigt pågår under PTS ledning ett arbete för att fler aktörer i samhället ska kunna ansluta sig till den mer robusta markbundna nationella tjänsten för spårbar tid och frekvens.

7.1.9 Försörjning av grunddata

Beredskapssektorn Försörjning av grunddata omfattar de viktiga samhällsfunktionerna grunddata för person, företag, fastighetsinformation, geografisk information och positionering.³²⁰ Sektorn leds av Skatteverket och övriga myndigheter som ingår i sektorn är Bolagsverket, Lantmäteriet och Myndigheten för digital förvaltning.³²¹ Med försörjning av grunddata avses att uppgifter inom den offentliga förvaltningen som flera aktörer har behov av och som är viktiga i samhället är tillgängliga även under höjd beredskap och vid fredstida kriser.³²² Verksamheten inom sektorn stöds av rymdtjänster med avseende särskilt på geografisk information och positionering. I Lantmäteriets ansvarsområde ingår att bevara och tillgängliggöra geodata som kan användas under fredstida kris-

³¹⁶ PTS 2022a, s. 6.

³¹⁷ För mer information se Sveriges Radio 2022. Sveriges Radio är inte en beredskapsmyndighet men vi väljer att ändå nämna deras roll i detta avsnitt utifrån kommunikationsperspektivet.

³¹⁸ Sveriges Radio 2022. Som framgår av Sveriges Radios hemsida: ”FM-nätet, det vill säga det analoga radionätet, fungerar även om el- eller telefoninätet skulle ligga nere.”

³¹⁹ Enligt intervju med en person verksam med Sveriges Radio (2022-05-23).

³²⁰ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 234.

³²¹ Förordning (2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

³²² Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 234.

situationer, höjd beredskap och ytterst i krig, och som behövs för att kunna återuppbygga samhället efter en kollaps, till exempel efter en naturkatastrof eller väpnad konflikt.³²³

Lantmäteriet tillhandahåller ett stödsystem för satellitpositionering i Sverige, Swepos.³²⁴ De tre största användargrupperna som använder Swepos är aktörer inom bygg- och anläggning, inom förrättningsarbete (dvs. inmätning och utsättning av gränser som bland annat Lantmäteriet, kommuner och mätkonsultföretag utför) samt inom jordbruket där lantbrukare använder sig av positioneringstjänster i syfte att optimera jordbruket. Som exempel på tillämpningar inom jordbruket kan nämnas självkörande traktorer som kan köra i exakt samma hjulspår eller styrning av maskinens gödningsdel för optimerad gödsling och minskad miljöpåverkan. Traktorerna körs dock inte helt autonomt, utan det sitter fortfarande en person i dem som kan ta över och styra, även om det inte blir med samma precision.³²⁵

Konsekvenserna av ett avbrott i den positioneringstjänst som Swepos tillhandahåller ser lite olika ut för olika aktörer. Inom bygg- och anläggning finns en risk att vissa maskiner blir stillastående. En grävmaskin kan exempelvis ha en inlagd digital modell av aktuellt arbetsområde som är beroende av GNSS-korrigeringar. Visserligen är det fortfarande möjligt att gräva men med sämre precision (om det däremot handlar om en borrhäls som inte får sin position kan det bli ett omedelbart avbrott). Entreprenören kan också själv sätta upp en basstation som ger korrekationer till maskinerna, alternativt lägga ut punkter i marken som mäter helt utan satellit (sådana konventionella tekniker kan användas om mycket hög noggrannhet krävs). I större infrastrukturprojekt finns krav på att kunna gå över till konventionell teknik om något händer med satellitsystemen vilket dock anses osannolikt givet att tre olika satellitsystem används (GPS, Glonass och Galileo). Även lantbrukare som använder positioneringstjänster är sårbara för störningar. Dock beror konsekvenserna i detta fall på årstid (jordbruket är mer känsligt för störningar vid skörd än under vintern).³²⁶

De sammantagna konsekvenserna vid ett bortfall av Swepos beror på hur långt avbrottet blir. Ett kortare avbrott (timmar) orsakar kostnader för stillestånd. Konsekvenserna vid längre avbrott är mer svårbedömda men tycks handla om kostnaderna för stillestånd alternativt kostnaden för försämrad precision och effektivitet. Efterfrågan på noggrann positionering (baserad på GNSS) ökar i

³²³ Lantmäteriet 2022.

³²⁴ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 235. SWEPOS består av fasta referensstationer som ger användarna möjlighet till navigeringsstöd och noggrann positionsbestämning. Om SWEPOS, se även Rymdstyrelsen 2015, s. 23.

³²⁵ Enligt intervju med en person verksam vid Lantmäteriet (2022-05-17).

³²⁶ Enligt intervju med en person verksam vid Lantmäteriet (2022-05-17).

samhället, exempelvis med avseende på autonoma fordon och andra marknads-tillämpningar. Det finns i allmänhet en förväntan på att det inte ska ske några avbrott i de ingående positioneringstjänsterna.³²⁷

Förutom geodata avser grunddata (enligt utredningsförslaget) även grunddata för person, företag och fastighetsinformation.³²⁸ Sådan data förvaltas av flera myndigheter, bland annat Skatteverket och Bolagsverket. Att data är skyddsvärd innebär att den ska kunna hållas konfidentiell, riktig och tillgänglig, i detta fall även under fredstida kriser och höjd beredskap.³²⁹ Samtidigt pågår löpande i Sverige olika typer av cyberangrepp som tekniskt sett kan utföras genom eller riktas mot rymdbaserad teknik eller rymdtjänster, vilket bland annat Säkerhetspolisen uppmärksammat.³³⁰ Denna studie har dock inte haft möjlighet att närmare undersöka innebörden av grunddata för person, företag och fastigheter i ett rymdberoendeperspektiv.

7.1.10 Ekonomisk säkerhet

Regeringen har beslutat att inrätta en särskild beredskapssektor för Ekonomisk säkerhet, vilket innebär att socialförsäkringarna, arbetslöshetsförsäkringen och pensioner kan betraktas som viktiga för samhällets funktionalitet.³³¹ Detta beslut är i enlighet med vad som föreslagits i Utredningen om civilt försvar.³³² Försäkringskassan skall leda arbetet i sektorn och de övriga myndigheter som ingår i den är Arbetsförmedlingen, Pensionsmyndigheten, Riksgäldskontoret, Skatteverket och Statens servicecenter.³³³

Utredningen om civilt försvar konstaterar att verksamheten i sektorn är ”i hög grad beroende av fungerande elförsörjning, elektroniska kommunikationer och av att de centrala finansiella tjänsterna fungerar”.³³⁴ I den mån det finns rymdberoenden i dessa sektorer så är det något som även kan påverka förmågan att betala ut socialförsäkringarna, arbetslöshetsförsäkringen och pensioner. Av resursskäl har fokus i studien varit på att undersöka dessa korsberoenden mellan sektorerna. Vad gäller beroenden i beredskapsmyndigheternas egen verksamhet uppgav Pensionsmyndigheten, Riksgäldskontoret, och Försäkringskassan att de använder sig av NTP-protokollet för tidshållning.³³⁵

³²⁷ Enligt intervju med en person verksam vid Lantmäteriet (2022-05-17).

³²⁸ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 234.

³²⁹ Ingemarsdotter et al. 2020, s. 34.

³³⁰ Säkerhetspolisen 2022a, s. 8.

³³¹ Förordning (SFS 2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

³³² Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 219.

³³³ Förordning (SFS 2022:524) om statliga myndigheters beredskap.

³³⁴ Utredningen om civilt försvar (SOU 2021:25), s. 220.

³³⁵ Olofsson 2021, Bilaga 1. Även Skatteverkets enkätsvar redovisas öppet, men bedöms vara något svårtolkat.

7.2 Dubbla användningsområden

Som påpekas av flera experter på rymdområdet är det i praktiken svårt att entydigt särskilja mellan civil rymdverksamhet och militär. Sandra Lindström, rymdexpert och forskningsledare vid FOI, konstaterar exempelvis att rymdverksamhet drivs av både civila och militära intressen och många satelliter kan användas för både civila och militära syften: ”Rymdområdet är och kommer alltid att förbli ett område med dubbla användningsaspekter och måste hanteras därefter.”³³⁶ Liknande slutsatser dras i den statliga utredningen *En ny rymdlag* (SOU 2021:91) som beskriver hur civila samhällsfunktioner ibland får data av militära satelliter likväl som försvarssektorn köper rymddata av kommersiella satellitägare.³³⁷ Enligt utredningen går det därför inte att skilja på militära och civila satelliter eller ens definiera en satellit som primärt civil eller primärt militär: ”All verksamhet i rymden betraktas därför, i praktiken, som verksamhet med dubbel användning.”³³⁸ I USA deklarerades år 1996 formellt att GPS ska räknas som ett militärt-civilt system med dubbla användningsområden (”military-civilian, dual-use system”).³³⁹

Den militära användningen av satelliter utvecklas ständigt och spänner över många områden, från spaning och övervakning till navigationsstöd och system för tidig förvarning.³⁴⁰ Ur ett militärt perspektiv har beroendet av kommersiell rymdinfrastruktur ökat kraftigt de senaste decennierna. I första Gulfkriget år 1990-91 var cirka 10 procent av vapensystemen beroende av rymdsystem medan denna siffra under USA:s insats i Afghanistan år 2001 hade ökat till 60 procent för att sedan i Irakkriget år 2003 stiga till 68 procent. Som påpekats av Jonatan Westman vid FOI innebär dessa ökande beroenden att rymdsystem blir attraktiva mål för olika former av attacker vars konsekvenser kan innebära ”nedsatt verkansförmåga på grund av störda eller förfalskade navigationssignaler, försämrad lägesuppfattning vid insatser, eller förlorad kontakt med hela förband vid tappad kommunikationslänk”.³⁴¹ Men att militära organisationer har beroenden av rymdtjänster innebär inte nödvändigtvis att dessa tjänster är militärt ägda: Enligt Nato tillhandahålls den satellitkommunikation som används för militära syften till 70 procent av den kommersiella sektorn.³⁴² Överlappet med motsvarande civil användning av rymdtjänster är således stort.

Historiskt sett har det i Sverige funnits en låg medvetenhet och förståelse för den säkerhetspolitiska aspekten av rymdverksamhet. Detta konstateras bland annat av forskarna Sandra Lindström och Kristofer Hallgren i FOI-rapporten

³³⁶ Lindström 2021, s. 4.

³³⁷ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91), s. 68.

³³⁸ Rymdlagsutredningen (SOU 2021:91).

³³⁹ Wallischeck 2016.

³⁴⁰ För exempel på militära tillämpningar, se Lindström et al. 2021, s. 16-18.

³⁴¹ Westman 2020, s. 2.

³⁴² Nato 2022.

Militärteknik 2045 som också påpekar att det svenska medlemskapet i EU, EDA, ESA och liknande organisationer innebär att Sverige och Försvarsmakten ”behöver anpassa sig till dessa organisationers syn på hur nära förknippat rymdverksamhet och säkerhetspolitik är.”³⁴³ Policyutvecklingen på detta område har gått snabbt: Europeiska kommissionen har i olika strategidokument och handlingsplaner uttalat en ambition att skapa synergier mellan unionens civila och militära tillämpningar av rymdteknik, vilket berörs närmare nedan. I Sverige är det framförallt civila och kommersiella intressen som har drivit det svenska rymdengagemanget, och det har främst setts som en akademisk och industriell fråga. Men som Lindström och Rydqvist argumenterar riskerar Sverige, mot bakgrund av det ökande beroendet av rymdtjänster, att stå sämre förberett för att möta de hot och risker som kan uppkomma om inte de försvars- och säkerhetspolitiska aspekterna av rymdverksamheten på ett tydligare sätt beaktas.³⁴⁴

Dubbel användning innebär i grunden att hotbilderna blir svåra att dela upp i civila respektive militära: I takt med att användningen av satellittjänster ökar inom många grundläggande samhällsfunktioner skapas också beroenden som kan utnyttjas av en antagonist. Lindström och Rydqvist beskriver i detta sammanhang hur den militära logiken gör att ”koncept och planer utvecklas för att förhindra en potentiell motståndare att få tillgång till rymdtjänster i händelse av en konflikt”.³⁴⁵ Utvecklingen ses som en konsekvens av att rymdsystem för flera stormakter är helt avgörande för att kunna hantera breda nationella säkerhetsfrågor liksom för militär verksamhet: ”Här är beroendena av rymdsystem och rymdtjänster särskilt tydliga och med dessa beroenden följer behovet av att säkra och skydda sina system.”³⁴⁶

Även Säkerhetspolisen, som ägnar ett särskilt kapitel åt rymden i sin årsbok från 2021, har betonat vikten av att öka kunskapen om rymden som en arena för konflikter och påpekar att rymden redan idag ses som en underrättelsearena av flera länder: ”Utvecklingen påverkar säkerhetsläget och underrättelsehotet i Sverige, direkt och indirekt.”³⁴⁷ Mot denna bakgrund måste även rymdarenan ses ur ett totalförsvarsperspektiv menar Säkerhetspolisen.³⁴⁸ Flera exempel ges på risker, hot och sårbarheter kopplat till rymdberoenden. Bland annat kan en konflikt i rymden leda till att grundläggande och viktiga samhällsfunktioner påverkas, genom att informations- och stödfunktioner (som till exempel navigationssatelliter) stryps. Vidare konstateras att ett angrepp mot rymdbaserad infrastruktur kan störa ut viktiga funktioner eller användas för att övervaka dataflöden eller plantera in falsk data. Dessutom påpekas att rymdsystemen är helt beroende

³⁴³ Lindström & Hallgren 2020, s. 115.

³⁴⁴ Lindström & Rydqvist 2017.

³⁴⁵ Lindström & Rydqvist 2017.

³⁴⁶ Lindström & Rydqvist 2017.

³⁴⁷ Säkerhetspolisen 2022, s. 8.

³⁴⁸ Säkerhetspolisen 2022.

av fungerande stödinfrastruktur på marken som riskerar att drabbas vid konflikt. Enligt Säkerhetspolisens slutsatser behöver kunskapen öka om rymdens betydelse för Sveriges säkerhet och för totalförsvaret.³⁴⁹

Som ovan nämnts har EU de senaste åren aviserat stora satsningar på rymdområdet. EU har bland annat tagit fram en handlingsplan för att skapa synergier mellan civil-, försvars- och rymdindustrierna.³⁵⁰ Bakgrunden till denna satsning beskrivs i ett pressmeddelande från Kommissionen i februari 2021 i termer av att ”Europa står inför en rekordstark global konkurrens i ett föränderligt geopolitiskt sammanhang.”³⁵¹ De ökade investeringarna i teknik för civila, försvarsrelaterade och rymdrelaterade tillämpningar förklaras syfta till att ”hjälpa Europa att bibehålla sin industriella bas, hänga med i den geopolitiska konkurrensen och stärka sin tekniska suveränitet.”³⁵² I den handlingsplan som Kommissionen tagit fram i syfte att skapa de nämnda synergieffekterna mellan civil industri, försvarsindustri och rymdindustri listas tre överordnade mål som ska ligga till grund för konkreta politiska åtgärder:³⁵³

- Stärka den kompletterande effekten mellan relevanta EU-program och instrument för att öka investeringarnas effektivitet och resultatens ändamålsenlighet (synergieffekter).
- Främja att EU:s finansiering av forskning och utveckling, bland annat inom försvars- och rymdområdet, får ekonomiska och tekniska vinster för EU:s invånare (spinoff-effekter).
- Underlätta användningen av civila industriforskningsresultat och civilt driven innovation i europeiska försvarssamarbetsprojekt (spinin-effekter).

Europeiska rådet har i sina slutsatser om säkerhet och försvar välkomnat uppmaningen till större synergier mellan den civila industrin och försvarsindustrin, inbegripet rymdsektorn, i EU:s program.³⁵⁴ Samtidigt understryker Rådet också vikten av att de respektive EU-programmens och EU-initiativens ”olika karaktär och rättsliga grunder respekteras, inbegripet de europeiska rymdprogrammets civila karaktär”.³⁵⁵ Rådet efterlyser också ”vidare hantering av de negativa konsekvenserna av beroende, i enlighet med vad som framhålls i kommissionens nya industristrategi”.³⁵⁶

³⁴⁹ Säkerhetspolisen 2022.

³⁵⁰ Europeiska kommissionen, COM(2021) 70 final 2021.

³⁵¹ Europeiska kommissionen 2021.

³⁵² Europeiska kommissionen 2021.

³⁵³ Europeiska kommissionen COM(2021) 70 final, s. 1-2. Planen kallas ”trepunktsbältesplanen” efter den svenske maskiningenjören Nils Ivar Bohlin’s uppfinning av säkerhetsbältet (Bohlin, som först arbetade med att utveckla katapultstolar i stridsflygplan för ett europeiskt flygteknikföretag, fortsatte sedan med att utveckla ett nytt säkerhetsbälte för en europeisk biltillverkare).

³⁵⁴ Europeiska unionens råd 2020, s. 10.

³⁵⁵ Europeiska unionens råd 2020.

³⁵⁶ Europeiska unionens råd 2020.

Att rymden utgör en arena för dubbel användning av essentiell teknik har också beskrivits i förordningen om inrättande av unionens rymdprogram och Europeiska unionens rymdprogrambyrå.³⁵⁷ Förordningens artikel 1 inleds med konstaterandet att ”Rymdteknik, rymddata och rymdtjänster har blivit oundgängliga i européernas vardag och spelar en avgörande roll för att bevara många strategiska intressen.”³⁵⁸ Vidare beskrivs hur rymdsektorns utveckling historiskt sett har varit kopplad till säkerhet. Den utrustning, de komponenter och de instrument som används i rymdsektorn, samt rymddata och rymdtjänster, är i många fall varor med dubbla användningsområden.³⁵⁹ Samtidigt påpekas att Unionens säkerhets- och försvarspolitik emellertid fastställs ”inom ramen för den gemensamma utrikes- och säkerhetspolitiken i enlighet med avdelning V i fördraget om Europeiska unionen (EU-fördraget).”³⁶⁰

Vad gäller relevanta lagrum i detta sammanhang har EU också tagit fram mer specifik lagstiftning som relaterar till produkter med dubbla användningsområden. Enligt en förordning som antagits av Europeiska unionens råd definieras sådana produkter som ”produkter, inbegripet programvara och teknik, som kan användas för både civila och militära ändamål, samt alla varor som kan användas både för icke-explosiva ändamål och för att på något sätt bidra vid tillverkning av kärnvapen eller andra kärnladdningar.”³⁶¹ Förordningen har bland annat betydelse för hur medlemsstaterna och kommissionen kan fastställa om en utländsk direktinvestering kan inverka på säkerhet eller allmän ordning. En av bedömningsgrunderna handlar just om kritisk teknik och produkter med dubbla användningsområden. Däribland (som närmare beskrivs i FOI-rapporten *Utländska direktinvesteringar i skyddsvärda verksamheter*) finns artificiell intelligens, robotteknik, halvledare, cybersäkerhet, rymden, försvar, energilagring, kvant- och kärnteknik samt nanoteknik och bioteknik.³⁶²

Rymdområdet pekas också ut specifikt i EU:s sanktioner mot Ryssland just med anledning av den dubbla användningsaspekten (”Förbud mot att sälja eller tillhandahålla produkter och tjänster kopplade till flyg- och rymdindustrin.”).³⁶³

I EU-kontexten kan slutligen också nämnas att EU:s så kallade Strategiska kompass för säkerhet och försvar som presenterades i mars 2022, identifierar

³⁵⁷ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/696.

³⁵⁸ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/696.

³⁵⁹ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/696.

³⁶⁰ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/696.

³⁶¹ Rådets förordning (EG) nr 428/2009 av den 5 maj 2009 om upprättande av en gemenskapsordning för kontroll av export, överföring, förmedling och transitering av produkter med dubbla användningsområden (artikel 2.1.).

³⁶² Petersson et al. 2020, s. 12. Om produkter med dubbla användningsområden, se även Inspektionen för strategiska produkter 2022.

³⁶³ För en sammanfattning av EU:s sanktioner mot Ryssland, se Regeringskansliet 2022.

rymden som en gemensam och strategisk global domän.³⁶⁴ Kompassen betonar vikten av att EU antar en rymdstrategi för säkerhet och försvar. Strategin ska syfta till att uppnå en gemensam förståelse för rymdrelaterade risker och hot, utveckla motåtgärder, förmåga att reagera snabbare och effektivare kring kriser och stärka Europas resiliens i förhållande till rymddomänen.

Internationellt pågår en diskussion om hur regler och normer (trots allt) kan utvecklas för rymden som gör att satelliter som har en avgörande betydelse för kritisk civil infrastruktur på marken kan få ett bättre skydd, även satelliter som har dubbla användningsområden.³⁶⁵ Traditionellt har säkerhetsdiskussioner inom den kommersiella sektorn, som ofta äger eller driftar rymdinfrastruktur, utgått från en fredstida kontext med fokus på säkerhet (*safety*) och hållbar utveckling (*sustainability*). Men som har påpekats på senare tid behöver även en krigstida kontext beaktas. Enligt en rapport finns åtminstone tre typer av allvarliga hot i ett sådant sammanhang: för det första sidoskador (*collateral damage*) på grund av attacker mot militära mål, för det andra attacker som utförs på grund av felaktig identifiering av kommersiella satelliter, för det tredje avsiktliga attacker mot civila mål i krig – antingen kinetiska eller icke-kinetiska sådana.³⁶⁶

Diskussionerna och förslagen om hur detta ska hanteras är omfattande och förs inom såväl FN³⁶⁷ som andra organisationer och bland forskare. Nämnas kan Internationella Röda Korskommitténs (ICRC) förslag om att stater borde överväga att särskilja militär från civil användning av rymdobjekt och om möjligt identifiera objekt som är ”oundgängliga för civilbefolkningens överlevnad” som t.ex. sådana tjänster som är kritiska för sjukhus eller anläggningar för dricksvattenförsörjning.³⁶⁸ Farhågan från ett rättsligt perspektiv utgår från att kommersiella satelliter som även används militärt skulle kunna ses som legitima måltavlor. Ett motargument som framförts i detta sammanhang är att konsekvenserna av en sådan attack mot kommersiella satelliter kan få så stora och oproportionerliga effekter på civilbefolkningen att attacken hur som helst borde betraktas som illegitim – även om objektet ifråga är av dubbelkaraktär, dvs. också har en militär betydelse.³⁶⁹ Enligt detta argument borde *alla* kommersiella satelliter vara off-limits, just på grund av den stora risken för omfattande konsekvenser för civilbefolkningen.

Diskussionerna om hur globala normer och regler ska utvecklas som ger rymdinfrastruktur ett bättre skydd kommer att fortsätta. Men en utmaning i sammanhanget är att denna typ av samtal och förhandlingar brukar vara tidskrävande,

³⁶⁴ Europeiska unionen (2022), s. 35-36.

³⁶⁵ Dickey 2022.

³⁶⁶ Dickey 2022, s. 3.

³⁶⁷ ICRC 2022.

³⁶⁸ ICRC 2022, s. 5-6.

³⁶⁹ Dickey 2022, s. 15.

samtidigt som den tekniska utvecklingen och användningen av rymdtjänster går mycket fort framåt.

7.3 Utveckling av rymdberoenden

Den här studiens tredje delmål är att beskriva i vilken riktning samhällets beroende av rymdinfrastruktur utvecklas. Det korta svaret på den frågeställningen är att beroendena ökar. På denna punkt råder det stor samstämmighet bland studiens intervjudeltagare, och det är en liknande bild som framgår i rapporter och i forskningslitteraturen. Som beskrivits i bakgrundkapitlet 3.3 är det en rad olika samspelande faktorer som gör att det samhällets beroende av rymden ökar. De här faktorerna är både tekniska (en fråga om teknikspridning och teknikmognad), ekonomiska (kostnaderna för rymdverksamhet har minskat medan de kommersiella intressena ökat) och politiska (den finns en uttalad vilja att se till att rymdverksamheten bidrar till samhällsnyttan). Vidare gavs i det föregående avsnittet exempel på hur beroendena ser ut att utvecklas inom varje sektor. För att komplettera dessa redogörelser sammanfattar vi nedan ett par av de övergripande trenderna avseende samhällets beroenden av rymdinfrastruktur.

Rymdverksamhet beskrivs under en intervju som en möjliggörare (*enabler*) för långtgående och genomgripande förändringar i samhället. Mycket tyder på att världen kommer att bli mer uppkopplad tack vare de satsningar som görs på satellitbaserade kommunikationsteknologier. Att tillgängliggöra global internet-uppkoppling skulle exempelvis kunna innebära att utvecklingsländer snabbt får tillgång till digitala tjänster och den samhällsnytta som associeras med dem. Samtidigt finns alltid risker när möjligheterna att sprida information ökar – all information som förmedlas behöver inte nödvändigtvis vara sann, och frågor om personlig integritet och ägandeförhållanden av infrastruktur och tjänster kan ställas på sin spets.³⁷⁰ Det handlar alltså om en fortsättning och möjlig intensifiering av de problemkomplex som redan finns i informationssamhällen. I takt med att den globala samhällsnyttan ökar uppstår också fler risker för att länder sannolikt bygger in sig i beroenden av rymdinfrastruktur.

Parallellt bidrar rymdverksamhet till att göra aktiviteter på jorden mer transparenta. Satelliter avbildar och mäter kontinuerligt förhållandena på jordens yta, och de enorma datamängder som genereras av satelliter kan användas till att få en situationsbild på mycket kort tid. De militära tillämpningarna av den tekniken har blivit uppenbara under Rysslands anfallskrig i Ukraina, då det med hjälp av satellitbilder som publicerats i media gått följa och dokumentera truppförflyttningar, flyktingströmmar och krigsbrott på distans. Att sådana bilder kan tas så pass regelbundet, är av god kvalitet och görs tillgängliga till allmänheten bidrar i viss mån till att skingra det som brukar kallas ”krigets dimma.” Samma princip

³⁷⁰ Enligt intervju med en person verksam vid SSC (2022-04-22).

kan utanför en militär kontext skapa ökad transparens kring olika aktörers agerande och öppna för ansvarsutkrävande. Men även här finns en baksida: I en värld som samtidigt är transparent och sammankopplad kan antagonisters handlingsutrymme tänkas öka. Man kan även förvänta sig att en del aktörer uppfinner nya metoder för att undvika att synas av satelliter, inklusive militära aktörer.³⁷¹

Av intervjumaterialet framgår även att det finns ett flertal nya teknologier med potentiella rymdberoenden som börjar uppnå en ny mognadsgrad, och som snart kan bli en del av svenskars vardagsliv. Ett exempel som nämns är automatiserade transporter.³⁷² Lanseringen av 5G och på sikt 6G nämns ofta som möjliggörare av Internet of Things, smarta städer och liknande digitaliseringsinitiativ.³⁷³ I den mån internetuppkopplingen är beroende av rymden kan det digitaliserade samhället även ha ett rymdberoende.³⁷⁴ En intervjudeltagare påpekar vidare att ju snabbare den tekniska utvecklingen går, desto viktigare blir det att kunna jämföra tid mellan olika tekniska enheter.³⁷⁵ I framtiden kan det alltså uppstå behov av ännu noggrannare tid och frekvens än vad som krävs idag.

Avslutningsvis bör understrykas att den exakta riktningen för utvecklingen av samhällets beroende av rymdinfrastruktur är avhänging yttre faktorer. Efterfrågan på rymdtjänster varierar exempelvis mellan olika grupper i samhället. Om de nuvarande geopolitiska spänningarna håller i sig över tid lär den militära efterfrågan på rymdtjänster driva utvecklingen i en viss riktning; om det i framtiden i stället främst är den kommersiella efterfrågan³⁷⁶ som driver på utvecklingen av rymdtjänster är det kanske andra tillämpningsområden än de militära som prioriteras. OECD gjorde för närmare 20 år sedan en scenarionanalys och tog fram en sammanvägd bedömning av vilka teknologier som de förväntade sig skulle vara gångbara och efterfrågade över en tjugo- till trettioårig tidshorisont.³⁷⁷ I retrospekt är många av OECD:s betraktelser ganska träffsäkra. En liknande scenariobaserad metod skulle kunna användas för att ta fram ett mer detaljerat kunskapsunderlag för hur utvecklingen kan tänkas påverka svenska intressen och utvecklingen av ett nytt och modernt civilt försvar.

³⁷¹ Enligt intervju med en person verksamma vid SSC (2022-04-22), MSB (2022-04-13) och Rymdstyrelsen (2022-04-21).

³⁷² Enligt intervju med en person verksamma vid Sjöfartsverket (2022-04-11); Lantmäteriet (2022-05-17) och under diskussioner med FOI-kollegor med kompetens inom GNSS och hotbilder förknippade med GNSS.

³⁷³ Se exempelvis Bengtsson & Mickelsson 2021, s. 22.

³⁷⁴ Sverige är idag inte särskilt beroende av rymden för internet, vilket också påpekas av intervjudeltagare, exempelvis under intervju med Rymdstyrelsen (2022-04-21). En person verksam vid SSC (2022-04-22) påpekar dock att Sverige med största sannolikhet kommer påverkas av de rådande trenderna inom rymdverksamhet, exempelvis initiativen mot att utveckla global satellituppkoppling.

³⁷⁵ Enligt intervju med en person verksam vid RISE (2022-04-22).

³⁷⁶ Kommersiell rymdverksamhet finansieras idag med medel från militära verksamheter, så även här är det svårt att särskilja de militära intressena från den övriga utvecklingen. Skulle rymden få minskad militär betydelse kan man dock tänka sig att detta förändrar finansieringen av även kommersiell rymdverksamhet, vilket OECD också påpekar i sina scenarier.

³⁷⁷ OECD 2004.

8 Diskussion och slutsatser

Ett bortfall av rymdtjänster skulle potentiellt sätt kunna påverka samhällets funktionalitet. Upprätthållandet av samhällets funktionalitet är en central uppgift inom det civila försvaret, varför samhällets rymdberoenden kan anses ha betydelse för den fortsatta utvecklingen av totalförsvaret. I detta avsnitt resonerar vi kring detta tema, utifrån studiens resultat. Några exempel och teman från intervjuerna lyfts även in i diskussionen, och redovisas här eftersom de inte direkt kopplar till de tre delmål som strukturerat informationsinsamlingen. Utifrån den diskussion som förs nedan drar vi fyra slutsatser om betydelsen av samhällets beroende av rymdinfrastruktur för utvecklingen av det svenska totalförsvaret. Det är dessa fyra slutsatser som ligger till grund för de rekommendationer som återfinns i rapportens sista och avslutande kapitel.

8.1 Rymdberoendet är en komplex risk

Det finns vissa typer av risker som är mycket svåra att beskriva med hjälp av traditionella riskanalysmetoder. I sådana metoder definieras risk ofta som en funktion av sannolikheten för att en oönskad händelse ska inträffa, samt dess konsekvenser. Denna traditionella förståelse av risk bygger på att det finns statistik över hur regelbundet en oönskad händelse inträffar, samt att man har historiska erfarenheter som kan informera bedömningen av de möjliga konsekvenserna. Om en oönskad händelse inte inträffat förut och om det inte finns en referensram för att förstå konsekvenserna kan det dock bli svårt att konceptualisera risken. Den här typen av risker kan beskrivas som komplexa.³⁷⁸ Vi menar att samhällets beroende av rymdinfrastruktur utgör en komplex risk.

Något som kännetecknar en komplex risk är att det kan vara mycket svårt att överblicka kausala samband inom ett system. När en oönskad händelse väl inträffar är det möjligt att dess effekter först blir synliga i ett andra eller tredje led.³⁷⁹ Detta stämmer väl in på frågan om samhällets rymdberoenden eftersom det handlar om tekniska funktioner som integrerats i tusentals system världen runt utan att en slutanvändare eller systemägare ens nödvändigtvis själv alltid vet om att beroendet finns.

Vidare förknippas komplexa risker med ett osäkert kunskapsläge, exempelvis för att det handlar om en ny typ av risk för vilken det saknas historisk data.³⁸⁰ Även detta stämmer in på frågan om samhällets rymdberoende, i och med att det aldrig förut i mänsklighetens historia funnits så många satelliter som används till så många samhällsviktiga funktioner i samhället. Det finns inget facit för vad som

³⁷⁸ Sonnsjö & Mobjörk 2013.

³⁷⁹ Sonnsjö & Mobjörk 2013, s. 23.

³⁸⁰ Sonnsjö & Mobjörk 2013, s. 24.

skulle hända vid en solstorm av Carrington-magnitud, ett krig där ASAT-vapen används, eller om det sker ett antal masskrockar i rymden. I studien har många intervjudeltagare påtalat att kunskapen om rymdfrågor är mycket låg i samhället, särskilt när det kommer till frågan om rymdberoenden och de risker som kan uppstå kopplat till detta. Trots att vi i studien har pratat med personer som jobbar direkt med ett visst tekniskt system som möjligen kan ha ett rymdberoende är det inte alltid så att de själva kan ge ett rakt svar på frågor om detta, eftersom det sällan finns incitament eller krav på att sådana beroenden ska identifieras. Att inventera rymdberoenden, och förbättra kunskapsläget, låter sig inte enkelt göras eftersom det är så många system och tillämpningar som behöver kartläggas.

Det kan även råda tvetydighet kring tolkningen av komplexa risker. Hur en risk bedöms kan bero på ett antal kognitiva och psykologiska faktorer, såsom skillnader mellan olika personers attityd till risk. Vissa personer är väldigt uppmärksamma på riskfaktorer, andra kan vara mer benägna att vilja fokusera på fördelar med användningen av en rymdtjänst och har kanske en högre riskacceptans.³⁸¹ Det finns trots allt många exempel på att användningen av rymdtjänster bidrar till samhällsnyttan, och i vissa fall så kan användningen av rymdtjänster vara ett sätt att minska andra beroenden eller risker. Vid undersökningen av samhällets rymdberoenden är det mycket svårt att komma ifrån personberoende och kvalitativa bedömningar. Även om det borde finnas ett binärt svar på om komponent X eller system Y har ett rymdberoende behöver en beroendeanalys ta hänsyn till förekomsten av eventuella stötdämpare och uthållighet. Analysen kräver en del resonerande och lateralt tänkande. Trots att man talar med personer som kan betraktas som experter inom sitt fält är det därför svårt att garantera att alla inspel är helt objektiva.

Vad spelar det då för roll att samhällets rymdberoenden inte är en ”vanlig” risk? En slutsats vi drar är att samhällets beroende av rymdinфраstruktur utgör en komplex risk som troligtvis inte kommer kunna hanteras inom ramen för det svenska beredskapssystemets ordinarie arbetsprocesser.³⁸² Exempelvis har tidigare studier visat att de som genomför RSA:er ibland arbetar ensamma med att inventera hela verksamhetens sårbarheter, och då kan man ifrågasätta hur rimligt det är att förvänta sig att de spontant ska flagga för komplexa risker som hittills ägnats väldigt lite uppmärksamhet i Sverige.³⁸³ Därför krävs det troligen riktade insatser för att frågan ska ägnas mer uppmärksamhet och börja diskuteras mer systematiskt av berörda aktörer.

³⁸¹ Sonnsjö & Mobjörk 2013, s. 25.

³⁸² Sonnsjö & Mobjörk 2013, s. 3.

³⁸³ Eriksson et al. 2020, s. 55.

8.2 Rymdberoendena behöver hanteras samlat

I en tidigare FOI-rapport bedömde författarna att det saknas koordinering av rymd- och rymdsäkerhetsfrågor i Sverige, och att detta utgör en riskfaktor. Författarna menar dels att samordningen på departementsnivå brister, dels att rymdfrågor i Sverige tenderar att hamna mellan olika myndighetsstolar.³⁸⁴ Även om färdigställandet av den nationella rymdstrategin 2018 kunde ses som en grund för att förbättra situationen kvarstod enligt FOI:s rapport problemet att Rymdstyrelsen varken har ”ekonomiska medel eller uppgifter som motsvarar rymdstrategins ambitioner”.³⁸⁵ Här måste man också påminna om att Rymdstyrelsen främst är en forsknings- och innovationsfokuserad myndighet inriktad på att utveckla den civila rymdindustrin, dvs. inte att finna dess sårbarheter. Principiellt sett kan lämpligheten ifrågasättas att myndigheter med denna typ av fokus även ges ansvar för att driva säkerhets- och sårbarhetsfrågor.

Även Säkerhetspolisen har efterlyst mer samverkan vad gäller rymdsäkerhetsfrågor som i högre grad inkluderar civila försvarsperspektiv. Allt fler länder ser rymden som en möjlig arena för konflikter i framtiden, enligt Säkerhetspolisen, som också påtalar att en konflikt i rymden mycket väl kan börja med att samhällsviktiga funktioner slås ut: ”Att se rymden ur ett totalförsvarsperspektiv är därför nödvändigt och både beredskap och kunskap behöver öka.”³⁸⁶ Den andra slutsatsen vi drar är därför att rymdberoendena behöver hanteras mer samlat i framtiden.

Vad gäller kunskapsutvecklingen på rymdområdet bedriver FOI genom finansiering från Försvarsmakten och Utrikesdepartementet sedan många år tillbaka omvärldsbevakning, analys och forskning utifrån militära förmågeutveckling men också utrikes- säkerhets- och försvarspolitiska perspektiv. För att totalförsvaret ska kunna bli sammanhållet behöver rymdfrågorna belysas ur såväl militära som civila försvarsperspektiv. Även om det finns en del civil finansiering (exempelvis via Utrikesdepartementet) för rymdforskning hamnar de civila försvarsfrågorna ofta i skymundan. Givet nuvarande situation menar vi att det därför är viktigt att forskningsprojekt som har rymden som huvudfokus beaktar beröringspunkter till utvecklingen av civilt försvar. Att bedriva forskning som beaktar såväl det civila som militära försvarets beroenden av rymden är alltså något som bäddar för en samlad hantering av dem.

³⁸⁴ Lindström & Hallgren 2020, s. 114.

³⁸⁵ Lindström & Hallgren 2020.

³⁸⁶ Säkerhetspolisen 2022b.

8.3 Bortfall av rymdtjänster kan påverka samhället som helhet

I studien har ett flertal intervjudeltagare uttryckt oro över samhällets ökade beroende av rymdinfrastruktur, och menar att ett bortfall av rymdtjänster kan få allvarliga konsekvenser för samhällets funktionalitet. Liknande farhågor uttrycks också i litteraturen. Den här studiens resultat ger dock viss anledning att nyansera bilden av att hela samhället omedelbart skulle sluta fungera om rymdtjänsterna inte var tillgängliga av någon anledning. Det finns flertalet exempel på verksamheter i Sverige som använder rymdtjänster till icke-kritiska funktioner. Trots att precisionsjordbruk blir allt vanligare lär svenska jordbrukare ändå kunna använda sina traktorer vid ett bortfall av GNSS-tjänster, som exempel.³⁸⁷ Sådana exempel är dock lättare att identifiera än de kritiska beroendena. Även om hela samhället inte stannar upp finns det därför fortsatt anledning att ta frågan om rymdberoenden på stort allvar.

Det är emellertid mycket svårt att analysera konsekvenserna av ett bortfall av rymdtjänsterna. En anledning till detta är att det saknas scenarier som aktörer kan använda som gemensam referenspunkt. Ska man föra nyanserade resonemang om vad som händer vid ett bortfall av rymdtjänsterna behöver man helst veta vad det är för typ av hot som förverkligas: är det en störning av GNSS-signaler i geografiskt avgränsat område, eller har alla satelliter och dess stödsystem slagits ut av någon anledning?

Avsaknaden av dimensionerande hotbilder är något som möjligen kan göra det svårt för att aktörerna i det civila försvaret att göra analyser av sina sårbarheter kopplade till rymden. För att komma vidare i analyserna skulle man kunna ta fram sådana underlag. Det skulle innebära att man preciserar vad olika verksamheter bör klara av för påfrestningar. Verksamheterna får då en tydlig kravställning att förhålla sig till, vilket minskar tolkningsutrymmet kring vad som är en rimlig nivå av risktolerans.

En möjlig infallsvinkel är att resonera kring konsekvenserna av ett ”worst case scenario” – att alla satelliter slagits ut och att alla samhällets rymdtjänster försvinner på en och samma gång. I ett sådant scenario kan konstateras att utbredningen av rymdberoendena är en risk i sig. Av det som sagts under intervju verkar det inom sjöfarten finnas relativt goda möjligheter att kommunicera och navigera med traditionella, icke-rymdbaserade metoder. Om besättningar plötsligt tvingas gå tillbaka till äldre metoder för navigering och kommunikation lär det dock uppstå risk för förseningar och olyckor i den globala sjöfarten. Det handlar om många små händelser som kan skapa kaskadeffekter och leda till stora problem om bortfallet pågår under tillräckligt lång tid. Vad händer om det sker en olycka

³⁸⁷ Här bortser vi också från riskerna som kan uppstå då jordbruksmaskiner kan fjärrlåsas.

i Panamakanalen, samtidigt är kö in till Göteborgs hamn, och de svenska myndigheter som verkar inom sjöfartssektorn jobbar för högttryck? I ett sådant scenario är frågan hur lång tid det tar innan Sverige, som till 90 procent är beroende av sjöfarten för import- och export, drabbas av allvarliga störningar i försörjningskedjorna.³⁸⁸

Vid ett storskaligt bortfall av samhällets rymdtjänster skulle troligtvis flera sektorer drabbas simultant av störningar. Vissa av dessa störningar skulle var för sig kanske inte ses som så allvarliga, men om många samhällsfunktioner simultant opererar med en reducerad kapacitet eller befinner sig i en omställningsprocess till alternativa arbetssätt så är det alltså en mycket allvarlig situation. När man sedan tar hänsyn till eventuella kritiska beroenden, som inte är identifierade i studien, ökar riskpotentialen för samhället som helhet.

Konsekvenserna av ett bortfall av rymdtjänster går inte heller att avgränsas till det militära eller civila delarna av totalförsvaret. Precis som det beskrivs i den senaste totalförsvarspropositionen för perioden 2021-25 är det militära försvaret beroende av att ett antal funktioner i samhället fungerar. Exempel som nämns är el- och drivmedelsförsörjning, hälso- och sjukvård, transporter samt försörjning av vatten och livsmedel samt olika slags förnödenheter.³⁸⁹ Om samhället drabbas av störningar till följd av ett bortfall av rymdtjänster är detta något som i förlängningen kan påverka det militära försvaret och leda till en nedsatt totalförsvarsförmåga. En tredje slutsats vi drar är därför att ett bortfall av rymdtjänster kan påverka samhället som helhet.

8.4 Stötdämpare kan nyttjas för att hantera rymdberoendena

I den här studien har vi medvetet försökt identifiera faktorer som kan utgöra stötdämpare, alltså sådant som gör att en verksamhet har bättre förmåga att hantera ett eventuellt bortfall av en rymdtjänst. Som tidigare nämnts kan redundans, adaptivitet och substitut ses som stötdämpare. Den fjärde slutsatsen vi drar är att svenska aktörer borde investera i stötdämpare för att hantera samhällets rymdberoenden.

Redundans handlar om att man har mer av en resurs än man behöver. I sammanhanget är den stora mängden satelliter något som bidrar till en ökad redundans. Om några satelliter inom en konstellation drabbas av en störning eller förstörs så finns det i många fall andra satelliter som kan leverera en liknande tjänst. Exempelvis så drabbades Copernicus-satelliten Sentinel 1B av ett tekniskt fel under slutet av 2021, vilket gjort att den inte levererar radardata som planerat.³⁹⁰

³⁸⁸ Rantakokko et al. 2022, s. 11.

³⁸⁹ Regeringens proposition 2020/21:30.

³⁹⁰ The European Space Agency 2022.

Under intervjuer nämns att en svensk aktör påverkats i viss mån av detta, men som helhet har Copernicus-programmet fungerat på ett tillfredställande sätt.³⁹¹

Förmågan att snabbt ersätta satelliter bidrar också till en ökad redundans. De mindre satelliter som massproduceras och som ingår i de megakonstellationer som byggs i låg omloppsbana beskrivs exempelvis som förhållandevis enkla att ersätta med kort ledtid.³⁹² Att med kort varsel ersätta en förlorad satellit med en annan kräver dock att det finns aktörer med uppskjutningskapacitet. Eftersom detta är en nyckelkompetens är det intressant att notera att Sverige arbetar aktivt med att skapa egen uppskjutningskapacitet vid Esrange i Kiruna. Om Sverige hade egen uppskjutningskapacitet skulle det alltså skapa autonom tillgång till rymden och ge en större grad av rådgighet över vissa delar av rymdinfrastrukturen.

Vidare kan man konstatera att redundansperspektivet behöver genomsyra såväl uppströms som nedströms rymdverksamhet för att öka förmågan att hantera beroendena. Enligt en intervjudeltagare tas viss hänsyn till redundans under uppbyggnaden av det svenska rymddatalabbet.³⁹³ I konkreta termer handlar det om att se till att rymddatan lagras på mer än ett ställe. Andra intervjudeltagare nämner att det är viktigt att själva ha kunskap om algoritmer och tekniska system.³⁹⁴

Förmågan att ersätta en resurs med en annan, alltså att man har ett substitut, bidrar även till att dämpa beroendena av rymdinfrastruktur. Genom att fortsätta investera i markbunden infrastruktur för telekommunikation och distribution av noggrann tid kan man exempelvis säkerställa att det finns ett alternativ till de rymdbaserade metoderna för att leverera samma tjänst. Vid en intervju noterar deltagarna att det på sikt skulle kunna bli mindre attraktivt att fortsätta investera i det markbaserade fibernätet, givet utvecklingen mot satellitbaserat internet.³⁹⁵ Ur ett beredskapsperspektiv är det oftast fördelaktigt att ha mer än en infrastrukturlösning, även om det är dyrt att underhålla. Men det är som sagt viktigt att ha båda alternativ tillgängliga, för som kriget i Ukraina visar kan satellitbaserade system utgöra ett substitut för markbaserad infrastruktur, när det sistnämnda förstörts av kinetiska angrepp. Ett ensidigt beroende, vare sig det är av rymdinfrastruktur eller markbaserad infrastruktur, är oftast en sårbarhet. Därför kan man även se rymdbaserade lösningar som en del av arbetet med att bygga upp samhällets motståndskraft.³⁹⁶

³⁹¹ Exempelvis personer verksamma vid SMHI (2022-03-25); Jordbruksverket (2022-03-24) och Rymdstyrelsen (2022-05-04).

³⁹² Enligt intervju med en person verksam vid SSC (2022-04-22).

³⁹³ Enligt intervju med en person verksam vid Rymdstyrelsen (2022-05-04).

³⁹⁴ Enligt intervju med personer verksamma vid Jordbruksverket (2022-03-24) och HaV (2022-05-02).

³⁹⁵ Enligt intervju med personer verksamma vid MSB (2022-05-06).

³⁹⁶ Att satellitbaserade system kan utgöra en metod för att skapa redundans är också något som nämns under intervjuer med personer verksam vid PTS (2022-04-11) och SSC (2022-04-22).

En annan typ av stöddämpare är adaptivitet, det vill säga förmågan att anpassa verksamheten vid ett bortfall av rymdtjänster. Rent konkret innebär det exempelvis att en verksamhet kan övergå till alternativa arbetssätt för att kompensera för bortfallet. Ofta innebär det en återgång till äldre, icke-rymdbaserade metoder för kommunikation, position, navigering, tidsangivelse eller övervakning. För att ta ett enkelt exempel, skulle det innebära att det i en verksamhet som är beroende av GNSS-tjänster för navigering finns tillgång till en karta, och att personalen vet hur man läser en karta. För att vara adaptiv är det alltså både nödvändigt att det finns tillgång till rätt verktyg (kartan) och att praktiska färdigheter (förmågan att läsa kartor) vidmakthålls, exempelvis genom övning. Att medvetet satsa på adaptivitet kan vara kostnadsdrivande för en verksamhet eftersom det innebär att man både måste investera i materiella och icke-materiella tillgångar.

Möjligheterna till adaptivitet kan ibland begränsas av hur rymdbaserade system är designade. Vissa tekniska system är designade så att de stängs ner helt om det förekommer ett fel – såsom att en signal eller datakälla faller bort. I sådana situationer, som brukar beskrivas som att det finns en ”*fail closed*-funktion” kan en person inte återta manuell kontroll av systemet. I andra fall designas tekniska system så att de vid fel reveterar till ett öppet tillstånd, vilket betyder att de kan opereras manuellt (*fail-open*).³⁹⁷ När aktörer upphandlar tekniska system är det därför av vikt att fundera över hur man vill att det ska fungera vid eventuella felkällor – ska det stängas ner (vilket kan vara att föredra ur ett informations-säkerhetsperspektiv), eller behöver det kunna fungera manuellt (vilket kan vara att föredra ur ett tillgänglighetsperspektiv)? För att skapa adaptivitet behöver verksamheter alltså göra medvetna val om hur tekniska system helst ska fungera vid störningar. Detta förutsätter att enskilda upphandlare har en väldigt god kunskap om hur ett visst tekniskt system är uppbyggt och kan identifiera om det har ett rymdberoende eller inte.

³⁹⁷ Detta är ett tema som kom upp under intervju med personer verksamma vid MSB (2022-05-06).

9 Rekommendationer

Utifrån den diskussion som förts ovan utkristalliseras ett par förslag för hur frågan om samhällets beroenden av rymdinfrastruktur kan hanteras framgent. Dessa riktar sig i första hand riktar sig till Regeringskansliet, som är uppdragsgivare för studien. Dessa förslag kan genomföras tillsammans, eller var för sig:

1. **Kunskapshöjande insatser och forskning.** I linje med vad andra forskare tidigare konstaterat är medvetenheten om samhällets rymdberoenden fortsatt låg. Den här rapporten utgör ett litet bidrag för att öka kunskapen om hur detta beroende ser ut, men det krävs troligen fler kunskapshöjande insatser för att det civila försvarets aktörer ska skapa sig ett aktivt och medvetet förhållningssätt till frågan. MSB tillhandahåller redan en del informationsblad och videos om rymdberoenden, som utgör ett bra första steg mot att höja kunskapen om frågan, men det kan även behövas forum som ger utrymme för diskussion och fördjupning i tekniska aspekter, såsom utbildningar eller föreläsningar. Det behövs även mer forskning om samhällets beroenden av rymdinfrastruktur. Detta är ett perspektiv som kan integreras i övriga projekt om samhällelig motståndskraft, och forskningsprojekt som har rymden som huvudfokus bör beakta beröringspunkter med utvecklingen av civilt försvar.
2. **Systematisk inventering av rymdberoenden.** Den här studien ger endast en övergripande bild av samhällets rymdberoenden, och det finns all anledning att tro att det finns fler beroenden som inte är identifierade i den här studien, men som kan ha betydelse för samhällets funktionalitet. Om det från Regeringskansliets håll finns en önskan om att få en mer heltäckande och högupplöst bild av samhällets rymdberoenden, för att kunna avgöra om det finns rymdberoenden som är kritiska och som kan behöva särskild hantering, så behöver en mer systematisk inventering av rymdberoendena att genomföras. En sådan inventering skulle kunna genomföras inom ramen för civila aktörers risk- och sårbarhetsanalys, men detta förutsätter att beredskapsplanerare redan är medvetna om att det finns risker med att ha rymdberoenden. Ett annat alternativ är att sektorsansvariga myndigheter får regeringsuppdrag att inventera rymdberoendena inom sin sektor, inklusive kritiska beroenden.
3. **Dimensionerande hotbildsunderlag.** Det finns ett antal hot mot rymdinfrastrukturen, men det kan vara svårt för det civila försvarets aktörer att veta vilket eller vilka av dessa hot de ska ta höjd för i sin beredskapsplanering. Det är stor skillnad på att planera för ett en störning

i en GNSS-tjänst i ett geografiskt avgränsat område, och att planera för att storskaligt och simultant bortfall av flera satelliter. Därför kan det behövas hotbildsunderlag som förtydligar vilka rymdrelaterade hot som det civila försvarets aktörer ska ha förmåga att hantera. På så sätt förtydligas även vad som är en rimlig nivå av risktolerans i relation till rymdberoenden. Detta är en fråga där det är viktigt med samsyn mellan militära och civila delar av totalförsvaret, och därför är det viktigt att sådana hotbildsunderlag tas fram i samråd med Försvarsmakten och MSB, som ett minimum.

4. **Samlad hantering av rymdfrågor.** Flera svenska aktörer efterfrågar en mer central hantering av rymdfrågor. Av den information som framkommit under den här studien verkar det som att en mer central hantering av rymdfrågorna även skulle underlätta för en mer samlad och systematisk hantering av riskerna som förknippas med samhällets beroenden av rymdinfrastruktur.
5. **Nyttja stötdämpare.** Det finns redan ett antal faktorer som kan mildra effekterna av ett eventuellt bortfall av rymdtjänster. De här faktorerna är det som i studien kallas stötdämpare. I de fall som dessa stötdämpare redan finns på plats så är det viktigt att dessa vidmakthålls, i andra fall kan de behöva utvecklas. Det kan handla om att fortsätta investera i såväl materiella som icke-materiella tillgångar som gör att viktiga samhällsfunktioner fungerar utan tillgång till vissa rymdtjänster.

10 Referenser

- Abrahamson, H. (2014). *Vägtull för hela Europa*, Ny Teknik:
<https://www.nyteknik.se/fordon/vagtull-for-hela-europa-6399391>
 [2022-11-13].
- Alexandersson, M., Marsten Eklöf, F. & Gabrielsson, B. (2018). *Framtida nationell användning av Galileo/PRS* (MSB1290). Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Alexandersson, M. & TT. (2022). *Ukrainakriget innebär en unik nivå av insyn*, Svenska Dagbladet: <https://www.svd.se/a/dneMWj/ukrainakriget-innebar-en-unik-niva-av-insyn> [2022-11-09].
- Andersson, C. & Rydqvist, J. (2009). *Rymdteknologins spridning - En ny utmaning för Sverige och Försvarsmakten?* (FOI-R--2873--SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Basquill, J. (2022). *Criminal groups turn to 'electronic warfare' tech to evade sanctions, research finds*, Global Trade Review:
<https://www.gtreview.com/news/global/criminal-groups-turn-to-electronic-warfare-tech-to-evade-sanctions-research-finds/> [2022-11-08].
- Bengtsson, J. & Mickelsson, L. (2021). *Svenska smarta städer – En explorativ studie om förväntas nytta och potentiella sårbarheter*. (FOI-R--5117—SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Copernicus, *Dias*, <https://www.copernicus.eu/sv/tillgang-till-information/dias> [2022-11-09].
- Cospas-Sarsat, *Cospas-Sarsat System*: <http://www.cospas-sarsat.int/en/system-overview/cospas-sarsat-system> [2022-11-11].
- de Sousa, T. (2022). *Analysing Space Dependencies – Methods and factors for method development*, Lund: Lunds universitet.
- Dickey, R. (2022). *Commercial Normentum: Space Security Challenges, Commercial Actors, and Norms of Behavior*, The Aerospace Corporation.
- Eriksson, C., Denward, C., Mickelsson, L., & Hedtjärn Swaling, V. (2020). *Kunskap för beredskap - Vad har risk- och sårbarhetsanalys gett för effekt hittills och hur kan nyttan öka?*(FOI-R--4804—SE), Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Eriksson, P. & Eckersand, U. (2019). *Typfall krisberedskap för länsstyrelserna*. (FOI-R--4799—SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- EUMETSAT, *What we do*: <https://www.eumetsat.int/about-us/what-we-do> [2022-11-11].

Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/696 av den 28 april 2021 om inrättande av unionens rymdprogram och Europeiska unionens rymdprogrambyrå (se EU CELEX_32021R0696_SV_TXT).

European Security and Markets Authority. (2017). *Guidelines - Transaction reporting, order record keeping and clock synchronisation under MiFID II* (SMA/2016/1452) <https://www.esma.europa.eu/document/guidelines-transaction-reporting-order-record-keeping-and-clock-synchronisation-under-mifid> [2022-11-11].

Europeiska kommissionen (2021). *EU:s industri: Kommissionen vill förbättra synergierna mellan civil-, försvars- och rymdindustrierna*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/ip_21_651 [2022-10-20].

Europeiska kommissionen, COM (2021) 70 final, *Handlingsplan för synergieffekter mellan civil industri, försvarsindustri och rymdindustri*. Bryssel.

Europeiska kommissionen & PWC (2017). *Dependence of the European Economy on Space Infrastructures - Potential Impacts of Space Assets Loss*, Bryssel: Europeiska kommissionen. <https://op.europa.eu/sv/publication-detail/-/publication/e5450aac-0d4d-11e8-966a-01aa75ed71a1/language-en> [2022-10-31].

European Union Agency for the Space Programme (2021). *Search and Rescue (SAR) / Galileo Service*. <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/search-and-rescue-sar-galileo-service> [2022-11-11].

European Union Agency for the Space Programme (2020). *Satellite positioning: a game changer for the European Railway Traffic Management System*. <https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/satellite-positioning-game-changer-european-railway-traffic-management-system> [2022-11-13].

European Union Agency for the Space Programme (2019). *Europe's economy is increasingly dependent on space - ITRE committee hears*. <https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/europe%e2%80%99s-economy-increasingly-dependent-space-itre-committee-hears> [2022-08-22].

Europeiska union (2022). *A Strategic Compass for Security and Defence - For a European Union that protects its citizens, values and interests and contributes to international peace and security*. https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/documents/strategic_compass_en3_web.pdf [2022-11-29].

- Europeiska unionens råd (2020). *Rådets slutsatser om säkerhet och försvar*, (8910/20). Bryssel.
- Freedman, A. (2020). *The coronavirus pandemic and loss of aircraft data are taking a toll on weather forecasting*, The Washington Post: <https://www.washingtonpost.com/weather/2020/05/12/weather-forecasting-coronavirus-flights/> [2022-11-11].
- Frontex (2015). *Frontex to implement border surveillance services as part of Copernicus*. <https://frontex.europa.eu/media-centre/news/news-release/frontex-to-implement-border-surveillance-services-as-part-of-copernicus-Z1r4A0> [2022-11-11].
- Foreign, Commonwealth and Development Office, *Russia behind cyber-attack with Europe-wide impact an hour before Ukraine invasion*. Gov.uk: <https://www.gov.uk/government/news/russia-behind-cyber-attack-with-europe-wide-impact-an-hour-before-ukraine-invasion> [2022-11-01].
- Förordning (2022:524) om statliga myndigheters beredskap.
- Förordning om ändring i förordningen (SFS 2008:1002) med instruktion för Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Förordning om ändring i förordningen (SFS 2007:1115) med instruktion för Rymdstyrelsen.
- Försvarmakten (2022). *Rymden – den nya frontlinjen*. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2022/07/rymden-den-nya-frontlinjen/> [2022-11-14].
- Försvarmakten (2020). *Kan COVID-19 pandemin påverka väderprognoserna?* <https://blogg.forsvarsmakten.se/forsvarsmeteorologerna/2020/03/26/kan-covid-19-pandemin-paverka-vaderprognoserna/> [2022-11-11].
- Försvarmakten. *Om FM vädertjänst*. <https://blogg.forsvarsmakten.se/forsvarsmeteorologerna/exempelsida/> [2022-11-11].
- Geoforum Sverige (2021). *Geoforum medverkar i webinarium som lyfter nyttan med rymddata*. <https://www.geoforum.se/nyheter/307-smarta-stader-landskap/4115-geoforum-medverkar-i-webbinarium-nationella-rymddatalabbet> [2022-11-11].
- Glennegård, S. (2022). *Rymddata bidrar till hållbara städer*, Fastighetstidningen: <https://fastighetstidningen.se/rymddata-bidrar-till-hallbara-stader/> [2022-11-11].

- Government Office for Science (2018). *Satellite-derived Time and Position: A Study of Critical Dependencies*, London:
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/676675/satellite-derived-time-and-position-blackett-review.pdf [2022-10-31].
- Gullström, C., Svensson, T., Faria, D., & Sjöqvist, L. (2019). *Rymdbaserade elektro-optiska sensorer – En förstudie*. (FOI-D--0920—SE) Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Harrison, H., Johnson, K., Roberts, T.G., Way, T. & Young, M. (2020). *Space Threat Assessment 2020*. Washington: Center for Strategic & International Studies. https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/200330_SpaceThreatAssessment20_WEB_FINAL1.pdf?6sNra8FsZ1LbdVj3xY867tUVu0RNHw9V [2022-08-25].
- Hedtjärn Swaling, V. (2015). *Beroende av korrekt tid i elsystem*. (FOI Memo 5069). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Horowitz, M.C. (2010). *The Diffusion of Military Power: Causes and Consequences for International Politics*. Princeton: Princeton University Press.
- Ingemarsdotter, I., Eidenskog, D. & Hedtjärn Swaling, V. (2020). *Vilse i lasagnen? En upptäcktsfärd i den svenska digitaliseringens mångbottnade problemstruktur*. (FOI-R--4814--SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- International Committee of the Red Cross (2022). *Constraints under International Law on Military Operations in, or in Relation to, Outer Space During Armed Conflicts*, United Nations Office for Disarmament Affairs: https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/05/ICRC-working-paper-on-the-constraints-under-international-law-on-military-space-operations_final_en.pdf [2022-11-10].
- Inspektionen för strategiska produkter (2022). *Introduktion till produkter med dubbla användningsområden*. <https://isp.se/pda/introduktion-till-pda/> [2022-11-29].
- Krause, K. (1992). *Arms and the State: Patterns of Military Production and Trade*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Krisinformation.se (2019). *SOS Alarm lanserar ny app*. <https://www.krisinformation.se/artiklar/sos-alarm-app>, [2022-10-17].
- Lag (SFS 1992:1403) om totalförsvär och höjd beredskap.

- Lantmäteriet (2022). *Lantmäteriet blir beredskapsmyndighet*.
<https://www.lantmateriet.se/sv/om-lantmateriet/press/nyheter/lantmateriet-bli-beredskapsmyndighet/> [2022-11-11].
- Lantmäteriet. *RTK*. <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/gps-geodesi-och-swepos/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/RTK/> [2022-11-14].
- Lavinprognoser (2019). *Start i dag för utökade nationella lavinprognoser*.
<https://lavinprognoser.se/pressmeddelanden/> [2022-11-11].
- Lavinprognoser. *Så skapas en lavinprognos*.
<https://lavinprognoser.se/artiklar/skapaslavinprognos/> [2022-11-29].
- Lindström, S. (2021). *Utblick - säkerhetspolitisk utveckling inom rymdområdet*. (FOI Memo 7602). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lindström, S. & Hallgren, K. (2021). "Rymden är en ny arena för krigföring", i *Strategisk utblick – Framtida hot*. (FOI-R--5103—SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lindström, S. (red.), Hallgren, K., Papadogiannakis, S., Rasmusson, O., Rydqvist, J. & Westman, J. (2021). *Omvärldsanalys Rymd 2020 – Fokus på försvar och säkerhet*. (FOI-R--5077—SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lindström, S. & Hallgren, K. "Rymden" i Kindvall, G. & Lindberg, A. (red.) (2020). *Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie*. (FOI-R--4985--SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lindström, S. & Rydqvist, J. (2017). *Behovet av en svensk försvars- och säkerhetsstrategi för rymden*. (FOI Memo 6176). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lindström, S. & Waldenvik, M. (2004). *Rymdväder – effekter på militära och civila system*. (FOI-R--1464--SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Livinstone, D. & Lewis, P. M. (2016). *Space, the Final Frontier for Cybersecurity?* Chatham House:
<https://www.chathamhouse.org/2016/09/space-final-frontier-cybersecurity-0/acknowledgments> [2022-11-08].
- Majlard, J. (2022). *Ryska varningen: Kan angripa västs satelliter*. Svenska Dagbladet: <https://www.svd.se/a/wAAMjM/ryssland-kan-forsoka-skjuta-ner-vastvarldens-satelliter> [2022-11-09].
- Markander, M. (2022). *Fjärrlåsning gör stulna traktorer från Ukraina obrukbara*, Computer Sweden:

- <https://computersweden.idg.se/2.2683/1.765644/fjarllasning-gor-stulna-traktorer-fran-ukraina-obrukbara> [2022-11-10].
- Meld. St. 10 (2019 – 2020). *Melding til Stortinget. Høytflyvende satellitter – jordnære formål: En strategi for norsk romvirksomhet.*
- Miljö- och jordbruksutskottets uppföljnings- och utvärderingsgrupp (2021). *Lantbrukets sårbarhet – en uppföljning.* (2020/21:RFR7).
- Moranta, S. (2022). *The Space Downstream Sector – Challenges for the Emergence of a European Space Economy*, Paris: French Institute of International Relations.
- Morris, R. (2021). *What happens to British ships when satellites don't work?*, BBC News: <https://www.bbc.com/news/uk-politics-57440787> [2022-11-11].
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2022a). *Civilt försvar mot 2030 - ett totalförsvar i balans : slutredovisning av regeringsuppdrag.* (Ju2022/01209/SSK).
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2022b). *Nu kan bränder i naturen upptäckas med hjälp av satelliter.* <https://www.msb.se/sv/aktuellt/nyheter/2022/juni/nu-kan-brander-i-naturen-upptackas-med-hjalp-av-satelliter/> [2022-11-11].
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2022c). *Strukturreform för krisberedskap och civilt försvar ger tydligare ansvar och handlingskraft.* <https://www.msb.se/sv/aktuellt/nyheter/2022/maj/ny-struktur-for-civilt-forsvar/> [2022-11-09].
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2022d). *Om Rakel.* <https://www.msb.se/sv/verktyg--tjanster/rakel/om-rakel/> [2022-11-25].
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap & Sveriges kommuner och regioner, "Solstormar" i *Handbok i kommunal krisberedskap – 4. Riskkatalog.* (MSB1968). Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2021a). *Kritisk infrastruktur i rymden.* <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/informationssakerhet-cybersakerhet-och-sakra-kommunikationer/kritisk-infrastruktur-i-rymden/> [2022-11-14].
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2021b). *Nödsändare.* <https://www.msb.se/sv/rad-till-privatpersoner/kommunicera-vid-olycka-och-kris/nodsandare/> [2022-11-11].
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2015). *En sammanställning av riskområden och scenarioanalyser 2012 – 2015. Enligt uppdrag 16 i*

- MSB:s regleringsbrev 2015. (MSB930 - november 2015). Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2014). *Vikten av var och när: Samhällets beroende av korrekt tids- och positionsangivelse*. (MSB778). Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2009). *Faller en – faller då alla? En slutredovisning från KBM:s arbete med samhällskritiska beroenden*. Karkstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Nato (2022). *Resilience, civil preparedness and Article 3*. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_132722.htm [2022-11-10].
- Norsk Romsenter. *Mer om romsentret*. <https://www.romsenter.no/no/Om-oss/Mer-om-Romsenteret> [2022-11-14].
- Odell, A., Bernland, A., Eriksson, G., Grahn, P., Mårtensson, T., Norin, L., Olsén, M. & Reichel, B. (2022). *Möjligheter till samexistens mellan Försvarsmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft*. (FOI-R--5293--SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- OECD (2022). *The OECD Handbook on Measuring the Space Economy*. Paris: OECD.
- OECD (2019). *The Space Economy in Figures - How Space Contributes to the Global Economy*. Paris: OECD Publishing. https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/the-space-economy-in-figures_c5996201-en [2022-08-22].
- OECD (2004). *Space 2030: Exploring the Future of Space Applications*. Paris: OECD Publishing. https://www.oecd-ilibrary.org/economics/space-2030_9789264020344-en [2022-11-01].
- OECD (2004). *The Construction of Synthesis Scenarios in Space 2030: Exploring the Future of Space Applications*. Paris: OECD Publishing.
- Olofsson, F. (2021). *Förutsättningar för att tillgängliggöra det nationella systemet för spårbar tid och frekvens*. (PTS-ER-2020:33). Stockholm: Post- och telestyrelsen.
- Piirainen, K.A., Haila, K., Salminen, V., Halme, K., Lamminkoski, H., Häme, T., Höyhty M. & Halme, E. (2022). *Socio-economic impact of space activities in Finland*. (Policy Brief 2022:10). Helsinki: Prime Minister's Office.
- Petersson, M. (red), Almén, O., Denward, C., Holmquist, E., Malmlöf, T. & Ädel, M. (2020). *Utländska direktinvesteringar i skyddsvärda verksamheter: En studie av risker, branscher och investerare*. (FOI-R--5069--SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.

- Post- och telestyrelsen (2022a). *Satellit: en möjlighet till snabbt bredband 2025 – Delrapport*. (PTS-ER-2022:18). Stockholm: Post- och telestyrelsen.
- Post- och telestyrelsen (2022b). *5G-näten klarar sig inte utan noggrann tid – Netnod får uppdrag av PTS*. [https://pts.se/sv/nyheter/internet/2022/5g-naten-klarar-sig-inte-utan-exakt-tid--netnod-far-uppdrag-av-pts/\[2022-11-11\]](https://pts.se/sv/nyheter/internet/2022/5g-naten-klarar-sig-inte-utan-exakt-tid--netnod-far-uppdrag-av-pts/[2022-11-11]).
- Post- och telestyrelsen (2021). *Nödsändare*. [https://www.pts.se/sv/privat/radio/utrustning/nodsandare/\[2022-11-11\]](https://www.pts.se/sv/privat/radio/utrustning/nodsandare/[2022-11-11]).
- Rantakokko, J., Strömbäck, P. & Linné, M. (2022). *GNSS-oberoende navigering – Omvärldsanalys*. (FOI-R--5328—SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Ramboll. *Förutsättningar för ett utvecklat Nationellt rymddatalabb – Analys*. <https://www.rymdstyrelsen.se/contentassets/1094f175403e45feac799988c27437f1/ramboll---analys-av-utvecklat-nationellt-rymddatalabb---1-mars.pdf> [2022-11-09].
- Regeringskansliet (2022). *Sanktioner mot Ryssland*. [https://www.regeringen.se/regeringens-politik/rysslands-invasion-av-ukraina/sanktioner-mot-ryssland/\[2022-11-23\]](https://www.regeringen.se/regeringens-politik/rysslands-invasion-av-ukraina/sanktioner-mot-ryssland/[2022-11-23]).
- Regeringens proposition 2020/21:30. *Totalförsvaret 2021–2025*. 14 oktober 2020. Stockholm: <https://www.regeringen.se/4a965d/globalassets/regeringen/dokument/forsvarsdepartementet/forsvarsproposition-2021-2025/totalforsvaret-2021-2025-prop.-20202130.pdf> [2022-11-28].
- Regeringens skrivelse 2017/18:259. *En strategi för svensk rymdverksamhet*. 9 maj 2018. Stockholm: https://www.regeringen.se/499bc9/contentassets/b6b324fe625a40be852dfc6661f5da77/171825900_webb.pdf [2022-08-22].
- Region Västerbotten (2022). *Vad är glesbygdsmedicin?* <https://www.regionvasterbotten.se/glesbygdsmedicin/om-glesbygdsmedicin> [22-11-11].
- Region Västerbotten (2021). *Hur kan innovationer inom E-hälsa stärka samhällsbaserade hälsosystem?* <https://www.regionvasterbotten.se/glesbygdsmedicin/forskning/aktuell-forskning/hur-kan-innovationer-inom-e-halsa-starka-samhallsbaserade-halsosystem> [2022-11-14].
- Riksrevisionen (2013). *Riksrevisionen granskar: staten på marknaden. Svensk rymdverksamhet - en strategisk tillgång?*(RIR 2013:1) Stockholm: Riksrevisionen.

- Rinaldi, S. M., Peerenboom, J.P. & Kelly, T.K. (2001). Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, 21(6), 11-25.
- Royal Academy och Engineering (2013). *Extreme space weather: impacts on engineered systems and infrastructure*. (ISBN 1-903496-95-0). London: Royal Academy of Engineering.
https://raeng.org.uk/media/lz2fs5ql/space_weather_full_report_final.pdf [2022-11-24].
- Rymdlagsutredningen (2021). *En ny rymdlag*. (SOU 2021:91). Lund: Utbildningsdepartementet.
- Rymdstyrelsen (2022). *Prognoser av rymdväder viktigt för samhället*.
<https://www.rymdstyrelsen.se/upptack-rymden/bloggen/2022/10/prognoser-av-rymdvader-viktigt-for-samhallet/> [2022-11-11].
- Rymdstyrelsen (2020). *Strategier vi arbetar utifrån*.
<https://www.rymdstyrelsen.se/om-rymdstyrelsen/strategi-och-policydokument/> [2022-11-14].
- Rymdstyrelsen (2016). *Alltid uppkopplad – Satellitkommunikation gör det möjligt*. Solna: Rymdstyrelsen.
https://www.rymdstyrelsen.se/contentassets/e90274777f394bd6a2b5e957a58fe1f8/alltid_uppkopplad_rymdstyrelsen.pdf [2022-11-09].
- Rymdstyrelsen (2015). *Navigera i vardagen – Satelliterna visar vägen i samhället*. Solna: Rymdstyrelsen.
https://www.rymdstyrelsen.se/contentassets/fc8ac0b9ff0849c8a78b9f813009694a/navigeraivardagen_rymdstyrelsen.pdf [2022-10-31].
- Rymdstyrelsen (2013). *Med blicken mot jorden – satellitbilder för samhällsnytta och forskning*. Solna: Rymdstyrelsen.
https://www.rymdstyrelsen.se/contentassets/3cdd088084ff4a18b3bde30d7810e418/medblickenmotjorden_rymdstyrelsen.pdf [2022-11-09].
- Rådets förordning (EG) nr 428/2009 av den 5 maj 2009 om upprättande av en gemenskapsordning för kontroll av export, överföring, förmedling och transitering av produkter med dubbla användningsområden (artikel 2.1).
- Sallinen, J. (2018). *Satellitesystem kopplas in av EU mot bränderna*. Svenska Dagbladet: <https://www.svd.se/a/5V4AeW/satellitesystem-kopplas-in-av-eu-mot-branderna> [2022-11-11].
- Smart City Sweden. *Geofencing*. <https://smartcitysweden.com/focus-areas/mobility/geofencing/> [2022-11-13].

- Sonnstö, H. & Mobjörk, M. (2013). *Om indirekta, komplexa och oönskade händelser – Att analysera risker med stor osäkerhet*. (FOI-R--3649--SE). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- SOS Alarm (2019). *SOS Alarm släpper ny 112-app*.
<https://www.sosalarm.se/pressrum/pressmeddelanden/2019/sos-alarm-slapper-ny-112-app/> [2022-11-11].
- SpaceX (2022). *Geomagnetic storm and recently deployed Starlink satellites*.
<https://www.spacex.com/updates/> [2022-11-09].
- Stupp, C. (2022). *U.S., U.K., EU Blame Russia for Cyberattack on Satellite Provider Viasat*, Wall Street Journal:
<https://www.wsj.com/livecoverage/russia-ukraine-latest-news-2022-05-10/card/us-u-k-eu-blame-russia-for-cyberattack-on-satellite-provider-P0H489yUmcAQqb1DSnQR> [2022-11-01].
- Sundberg, T. & Sundberg, H. (2020). *Rymdskrot – nulägesbeskrivning, potentiell utveckling och aktuella forskningsfrågor*. (FOI Memo 7580). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Svenska kraftnät (2020). *Telekom - hyr optofiber*.
<https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/vid-samhallsplanering/telekom/> [2022-11-01].
- Svenska kraftnät (2012). *Skydd mot geomagnetiska stormar - Elektromagnetisk påverkan på kraftsystemet*. (Dnr: 2011/805). Svenska kraftnät.
- Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2021). *Meteorologiska mätningar*.
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/meteorologiska-matningar> [2022-11-11].
- Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2016). *Hydrologiska varningar för större europeiska floder*.
<https://www.smhi.se/oms-smhi/samverkan/hydrologiska-varningar-for-storre-europeiska-floder-1.102208> [2022-11-11].
- Sveriges Radio (2022). *Sveriges Radios beredskapsuppdrag*.
<https://sverigesradio.se/artikel/sveriges-radios-beredskapsuppdrag> [2022-11-28].
- Säkerhetspolisen (2022a). *Säkerhetspolisen 2021*. Stockholm.
https://sakerhetspolisen.se/download/18.650ed51617f9c29b552287/1649683389251/Sakerhetspolisen_arsbok%202021.pdf [2022-11-14].
- Säkerhetspolisen (2022b). *Aktiviteter i rymden har betydelse för totalförsvaret*.
<https://sapo.se/ovriga-sidor/nyheter/nyheter/2022-01-11-aktiviteter-i-rymden-har-betydelse-for-totalforsvaret.html> [2022-11-14].

- Söderström, M. (2012). På väg mot det nya jordbruket med satelliter, sensorer och GIS. *Geografiska Notiser*, 70(3). 132-140.
- The European Space Agency (2022). *Mission ends for Copernicus Sentinel-1B satellite*.
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Mission_ends_for_Copernicus_Sentinel-1B_satellite [2022-11-11].
- The European Space Agency (2005). *Space debris: assessing the risk*.
https://www.esa.int/About_Us/ESOC/Space_debris_assessing_the_risk [2022-11-09].
- Traficom (2022). *Exceptionellt mycket observationer av GPS-störningar i närheten av östgränsen*. <https://www.traficom.fi/sv/aktuellt/exceptionellt-mycket-observationer-av-gps-storningar-i-narheten-av-ostgransen> [2022-11-08].
- TT-AFP (2022). *Torka utlöser krisläge i Frankrike*. Svenska dagbladet:
<https://www.svd.se/a/wO7dlG/torka-utloser-krislage-i-frankrike> [2022-11-01].
- Utredning om civilt försvar (2021). *Struktur för ökad motståndskraft*. (SOU 2021:25) Stockholm: Justitiedepartementet.
- Utredningen om legal metrologi, tid och frekvens samt riksmätplatser (2007). *Spårbar tid och frekvens – perfekt tajmat*. (2007-1). Näringsdepartementet.
- Wallischeck, E. (2016). *GPS Dependencies in Transportation: An Inventory of Global Positioning System Dependencies in the Transportation Sector, Best Practices for Improved Robustness of GPS Devices, and Potential Alternative Solutions for Positioning, Navigation and Timing*. (DOT-VNTSC-NOAA-16-01). Cambridge: U.S. Department of Transportation.
- Westman, J. (2020). *Rapportering från webinarier med tema cybersäkerhet i rymden*. (FOI Memo 7288). Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Wilhelmsson, F. (2021). *Fotbojan är framtiden!* Tidskrift för Kriminalvård:
<https://www.tfkriminalvard.org/debatt/fotbojan-ar-framtiden/> [2022-11-11].

