

CHRISTER ANDERSSON, RUNE BERGLIND, EVA BERNHARDSDOTTER,
EVA DALBERG (RED.), KRISTOFFER DARIN MATTSSON,
NIKLAS GRANHOLM (RED.), ANDREAS GUSTAFSSON,
ANDERS GUSTAVSSON, BJÖRN JOHANSSON, PETER KRYLSTEDT,
ARNE LINDBLAD, FREDRIK MARSTEN EKLÖF, SEBASTIAN MÖLLER,
ELIN RABE, ERLAND SANGFELT (RED.), PETER SIGRAY, LOUISE SIMONSSON,
MICHAEL TULLDAHL, LARS ULANDER, JOAKIM WIKSTRÖM



Christer Andersson, Rune Berglind, Eva
Bernhardsdotter, Eva Dalberg (red.), Kristoffer
Darin Mattsson, Niklas Granholm (red.), Andreas
Gustafsson, Anders Gustavsson, Björn
Johansson, Peter Krylstedt, Arne Lindblad,
Fredrik Marsten Eklöf, Sebastian Möller, Elin
Rabe, Erland Sangfelt (red.), Peter Sigray, Louise
Simonsson, Michael Tulldahl, Lars Ulander,
Joakim Wikström

Ett förändrat Arktis

En inledande kartläggning av FOI-kompetenser

Titel	Ett förändrat Arktis – en inledande kartläggning av FOI-kompetenser
Title	The Changing Arctic – an initial survey of FOI know-how
Rapportnr/Report no	FOI-R--3654--SE
Månad/Month	Mars
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	83 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	
FoT område	
Projektnr/Project no	I280146
Godkänd av/Approved by	Torgny Carlsson
Ansvarig avdelning	Försvars- och säkerhetssystem

Omslagsfoto: Jimmie Adamsson/Försvarsmakten. Visbykorvetten HMS Härnösand i norska farvatten under övningen Cold Response år 2012.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

Cover photo: Jimmie Adamsson/Swedish Armed Forces. The Visby corvette HMS Härnösand off the coast of Norway during Cold Response 2012.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Klimatförändringarna i Arktis medför att flera olika utvecklingar accelereras, såsom utvinningen av resurser, uppbyggnaden av ny infrastruktur, samt ökad sjöfart i området. Dessa förändringar kan också komma att innebära ökad friktion mellan nationella intressen, pga. överlappande krav på territorium eller ekonomiska zoner med omfattande naturresurser och farleder. Sverige, som fram till maj 2013 är ordförande-land i Arktiska rådet, betonar i sin strategi formulerad vid början av ordförandeskapet de civila aspekterna på utvecklingen.

Även om utvecklingen hittills i huvudsak varit positiv, kan inte framtida spänningar, friktioner eller konflikter i området uteslutas. Den svenska solidaritetsförklaringen från 2009, som omfattar EU:s medlemsstater såväl som Island och Norge, uttrycker att Sverige ska vara redo att ge eller ta emot militärt stöd i händelse av en kris eller konflikt. Detta, sammantaget med det faktum att Barentsregionen och delar av Arktis tillhör Sveriges norra och nordvästra närområde, pekar på ett behov av att undersöka Sveriges handlingsmöjligheter vid en potentiell framtida kris eller konflikt i regionen. Regionens karaktär leder oss att i första hand se internationell samverkan eller multilaterala övningar med enheter från marinen, flygvapnet eller kustbevakningen.

Frågor som rör hur väl våra marina plattformar samt andra resurser och sensorsystem kan operera i Arktis är därför relevanta. Syftet med denna studie är att öka vår förståelse för möjliga utvecklingar rörande frågor som sträcker sig från den förändrade strategiska situationen i den arktiska regionen till civila aspekter av försvars- och säkerhetsfrågor, inklusive miljöeffekter på våra sensorsystem. Plattformfrågor berörs inte här.

Med denna bakgrund har syftet för studien varit att inventera FOI:s existerande kompetens om Arktis som en möjlig arena för operationer liksom att bättre kunna identifiera FOI:s roll i den pågående forskningen om ett förändrat Arktis.

De perspektiv som anlagts har inkluderat säkerhetspolitik och strategiska studier, sensorer (undervatten, radar, IR och laser), kommunikation, navigering och positionering, miljö och rymdfrågor. År två av projektet är avsikten att fokusera på rymdfrågor (små satelliter och kommunikation), dataförsörjning av miljöparametrar till marina stödsystem (inkluderande långsiktiga effekter pga. klimatförändringarna) och multisensordetektering av små isberg (s.k. *growlers*), inkluderande fortsatta studier av den strategiska utvecklingen i regionen.

Nyckelord: Arktis, marina styrkor, kustbevakning, säkerhetspolitik, strategi, Sverige, Barentsregionen, Island, Grönland, Nordostpassagen

Abstract

Climate change in the Arctic accelerates several different developments in the Arctic region, such as extraction of natural resources, build-up of new infrastructure, increased shipping through the Northern Sea Route, as well as two other transoceanic sea lanes through the Arctic Ocean. These changes may also lead to friction between nations due to overlapping territorial claims as well as an interest to extend economic zones. Sweden, which chairs the Arctic council until May 2013, stresses the importance of the civilian aspects of the developments in a strategy formulated at the start of the Swedish chairmanship.

Even if the development so far has been largely positive, it is not possible to rule out future tensions, friction or conflicts in the Arctic. The Swedish declaration of solidarity from 2009, which embraces the EU-member states as well as Iceland and Norway, states that Sweden shall be prepared to give or receive military support in the case of a crisis or conflict. This, together with the fact that the Barents Sea region and parts of the Arctic form part of Sweden's northern and north-western neighbourhood, points to a need to examine Sweden's options in a possible future crisis. The characteristics of the region lead us to envisage mainly naval, air force and coastguard participation in international cooperative or multilateral exercises.

To what extent Swedish naval platforms, other maritime assets and sensor systems will perform in the Arctic is therefore a relevant question. The purpose of this study is partly to increase our understanding of possible developments concerning issues ranging from the changing strategic character of the Arctic region over civilian aspects to defence and security related ones, including environmental effects on sensor systems.

Given this background, the main aim of this study is to conduct an inventory of FOI's existing know-how about the Arctic as a possible area of operations as well as to better focus the role for FOI in the on-going research regarding a changing Arctic.

The range of perspectives in this study has included security policy and strategic studies, sensors (underwater, radar, infrared and laser), communication, navigation and positioning, environment and space issues. The second year of the project the intention is to focus on space issues (small satellites and communication), environmental data support for naval systems (including long term effects due to climate change) and multi-sensor detection of small icebergs (growlers), including a continued study of the developing strategic trends and interaction in the region.

Keywords: The Arctic, naval forces, coast guard, security policy, strategy, Sweden, Barents region, Island, Greenland, North Sea Route

Innehållsförteckning

1	Inledning	10
1.1	Motiv och syfte	10
1.2	Studiens upplägg	10
2	Ett nytt Arktis växer fram – två scenarier för utvecklingen i Sveriges norra och nordvästra närområde	12
2.1	Utblick	12
2.2	Viktigare faktorer under förändring	12
2.2.1	Sjöfart.....	12
2.2.2	Resurser och territoriella frågor	13
2.2.3	Den militärstrategiska utvecklingen	13
2.3	Förändringar i den nordatlantiska regionen – Grönland, Island och Barentsregionen	14
2.3.1	Grönland	14
2.3.2	Island.....	15
2.3.3	Barentsregionen.....	15
2.4	Samarbete och institutionell utveckling.....	15
2.5	Två scenarier för Arktis	16
2.5.1	Implikationer av scenarierna	18
3	Ett gammalt Arktis smälter bort - klimatförändringar och miljöpåverkan	21
3.1	Pågående och framtida miljöförändringar	21
3.1.1	Temperaturförändringar	21
3.1.2	Förändringar av nederbörd och stormar	22
3.1.3	Förändringar i havsis	22
3.2	Klimatförändringars inverkan på det marina ekosystemet.....	24
3.3	Marina insatser påverkas och påverkar	24
3.3.1	Ökad aktivitet	24
3.3.2	Insatser påverkas av miljön	25
3.3.3	Insatser påverkar miljön.....	25
3.4	Sammanfattning och slutsatser.....	26
4	Det som döljer sig under ytan - undervattenssensorer i Arktis	28
4.1	Undervattenssensorer och marinen.....	28
4.2	Oceanografi.....	28
4.3	Isförhållanden.....	29
4.4	Ljudutbredningsförhållanden.....	30

4.5	Akustiska sensorer – sonarer	32
4.5.1	Beräkningar för passiv spaning med sonar	32
4.6	Fiberlaserhydrofon	36
4.6.1	Generell optisk omvandlare	37
4.7	Elektromagnetiska sensorer och system	37
4.7.2	Elektromagnetisk undervattensvågutbredning.....	39
4.7.3	Elektromagnetiskt bakgrundsbrus	39
4.7.4	Elektromagnetiska undervattenssensorer	40
4.7.5	Elektromagnetiska undervattenssystem	40
4.8	Sammanfattning och slutsatser.....	41
5	Sensorer för upptäckt av isberg	42
5.1	Isförhållanden och isbergshotet	42
5.2	Isklassificering, isövervakning och prognostjänster	42
5.3	Behovsanalys, val av sensorplattformar	45
5.4	Radarsystem	46
5.5	SAR.....	47
5.6	Lasersystem.....	50
5.6.1	LIDAR.....	50
5.7	Infraröda sensorer i arktiska miljöer	52
5.7.1	Isbergsdetektion.....	53
5.8	Sammanfattning och slutsatser.....	54
6	Radiosamband i Arktis	55
6.1	Förutsättningar och behov	55
6.1.1	Trafikbehov	55
6.1.2	Infrastruktur	56
6.1.3	Vågutbredning.....	56
6.2	Möjligheter med olika radiosystem.....	57
6.2.1	VLF – LF	57
6.2.2	MF	58
6.2.3	HF	58
6.2.4	VHF	59
6.2.5	UHF.....	59
6.2.6	Mikrovågslänkar	60
6.2.7	Mobiltelefon och andra cellulära system.....	60
6.2.8	Satellitkommunikation	60
6.3	Sammanfattning och slutsatser.....	62
7	Navigering och positionering i Arktis	63

7.1	Användning av GNSS i Arktis	63
7.2	Systembeskrivning GNSS.....	63
7.2.1	GPS.....	64
7.2.2	GLONASS.....	64
7.2.3	Galileo	64
7.3	Faktorer som påverkar noggrannhet och tillgänglighet.....	65
7.3.1	Effekter på geometrin.....	65
7.3.2	Rymdväderspåverkan på GNSS.....	66
7.3.3	Isbeläggning på antenn.....	66
7.4	Stödsystem till GNSS.....	67
7.5	Automatic Identification System (AIS)	67
7.6	Alternativa/komplementerade system till GNSS	68
7.6.1	Tröghetsnavigering	68
7.6.2	LORAN.....	68
7.7	Sammanfattning och slutsatser.....	69
8	Rymdaspekter på Arktis	70
8.1	Arktis – en spelplan för rymdmakter	70
8.2	Rymdtjänster i Arktis	71
8.3	Nytta och begränsningar hos de satellitbaserade rymdförmågorna.....	72
8.3.1	Omloppsbanor och Arktis.....	72
8.4	Försvarsmakten och rymdförmågor i Arktis	74
8.4.1	Civil kapacitet.....	74
8.5	Framtida möjligheter och val.....	74
8.5.1	Utgångspunkter.....	74
8.5.2	Samarbetsinitiativ och rymdförmågor	75
8.5.3	Stoltenbergrapporten	76
8.6	Sammanfattning och slutsatser.....	76
9	Sammanfattande utblick	78
9.1	Slutsatser och implikationer för fortsatta studier.....	78
10	Referenser	80

Förkortningar

Förkortning	Förklaring
AIS	Automatic Identification System
AMBCS	Alaska Meteor Burst Communications System
ASG	Active Shaft Grounding
ATM	Air Traffic Management
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
BMD	Ballistic Missile Defence
CBD	Convention on Biological Diversity
CLCS	Committee on the Limits of the Continental Shelf
CLDG	Closed Loop De-Gaussing
COP	Common Operational Picture
CSA	Canadian Space Agency
CTD	Conductivity, Temperature, Depth
DOP	Dilution of Precision
EDA	European Defence Agency
EGEP	European GNSS Evolution Program
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ELFE	Extreme Low Frequency Electric
EPS	Enhanced Polar System
EPS	EUMETSAT Polar System
ESA	European Space Agency
ESCPC	European SatCom Procurement Cell
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
FoT	Forskning och teknikutveckling
FSO	Free Space Optics
GLONASS	GLObalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HEO	Highly Elliptical Orbit
HF	High Frequency
IALA	International Association of Marine Aids
ICCP	Impressed Current Cathodic Protection
ICES	International Council for the Exploration of the Sea
IEC	International Electrotechnical Commission
IMU	Inertial Measurement Unit
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IR	Infraröd
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
LEO	Low Earth Orbit
LF	Low Frequency
LIDAR	Light Detection and Ranging

LORAN	Long Range Navigation
MEO	Medium Earth Orbit
MF	Medium Frequency
MSK	Minimum Shift Keying
MUSIS	Multinational Space-based Imaging System
NAVSTAR	NAVigation Satellite Time And Ranging
NRCS	Natural Resources Conservation Service
OS	Open Service
PCW	Polar Communication and Weather
PE	Parabolic Equation
PfP	Partnership for Peace
PRS	Public Regulated Service
RMP	Recognized Maritime Picture
ROE	Rules of Engagement
SAR	Search and Rescue
SAR	Synthetic Aperture Radar
SESAR	Single European Sky ATM Research
SLBM	Submarine-Launched Ballistic Missile
SOLAS	Convention for the Safety of Life at Sea
SSC	Swedish Space Corporation
TAS	Towed Array Sonar
TEC	Total Electron Content
TNS	Tröghetsnavigeringssystem
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
UV	Ultraviolet
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea
VHF	Very High Frequency
VLF	Very Low Frequency
VIS	Visuell
WAAS	Wide Area Augmentation System
WMO	World Meteorological Organization

1 Inledning

1.1 Motiv och syfte

I ett förändrat Arktis med mer mänsklig aktivitet blir frågan om risker och möjligheter central. På vilket sätt påverkas svenska intressen och hur kan de främjas i denna ”nya” region? Den här studien bidrar till att svara på den frågan.

Studien ”Ett förändrat Arktis” initierades som en strategisk kompetenssatsning inom FOI med målet att kartlägga den Arktis-relaterade forskning som redan bedrivs vid myndigheten. Därmed skulle svaret på frågan hur vi kan ge ett bidrag till att främja svenska intressen i Arktis kunna börja besvaras. Studien startade i maj 2012 och är planerad att fortsätta under 2013. Det första årets arbete har varit inriktat mot att inventera den FOI-interna kompetensen, vilket avspeglas i denna rapport. Tidsförhållandena innebar också att arbetet utfördes i parallella spår, varför växelverkan mellan den säkerhetspolitiska analysen och de teknologiska delarna inte fullt ut kunnat belysas. År två av projektet är avsikten att fokusera på rymdfrågor (små satelliter och kommunikation), dataförsörjning av miljöparametrar till marina stödsystem (inkluderande långsiktiga effekter pga. klimatförändringarna) och multisensordetektering av små isberg (s.k. *growlers*), inkluderande fortsatta studier av den strategiska utvecklingen i regionen. Genom denna fokusering är vår avsikt att konkretisera kopplingen mellan de teknologiska och säkerhetspolitiska perspektiven.

Forskare från en rad olika kompetensområden har bidragit till projektet, vilket avspeglas i rapportstrukturen, där varje område fått ett eget kapitel. Rapporten avspeglar även att FOI:s möjliga bidrag till Arktis-Sverige kan ske på olika nivåer. FOI har intresse av att fortsatt bidra till den svenska säkerhetspolitiska policyutvecklingen rörande Arktis genom strategiska studier av olika slag. Detta innefattar att hantera en dynamisk utveckling och att genomföra olika typer av risk- och hotanalyser. FOI kan även bidra med grundläggande expertis rörande en rad tekniska system. Detta innefattar värdering av enskilda system eller system-av-system, egen forskning om förutsättningar för användande av teknik under arktiska förhållanden, utveckling av tekniska koncept, samt teknisk hotanalys. Här är det centralt med nationellt eller internationellt samarbete, troligen även med näringslivet. Slutligen har vi ett intresse av att bidra till att undersöka behoven av och formulera möjligheter för svenska optioner/handlingsmöjligheter vad gäller krishantering i regionen. Även här kan hotanalys vara ett sätt att skapa en nationell beredskap.

Sammantaget innebär det nu genomförda arbetet att FOI är bättre förberett för olika typer av samarbeten och externa uppdrag med bäring på Arktis som kan förväntas över ett brett spektrum av områden. Det gäller från FOI:s huvudkunder Försvarmakten och Försvarsdepartementet, liksom från övriga regeringskansliet, andra myndigheter och organisationer samt näringslivet. Studien har redan genererat intresse från flera av dessa aktörer samt bidragit till att förbättra möjligheterna till internationellt samarbete.

1.2 Studiens upplägg

I rapporten presenteras olika aspekter på hur ett förändrat Arktis kan komma att påverka svenska intressen i stort, och svenska marinen i synnerhet, utifrån ett antal perspektiv. Flera av slutsatserna är tillämpliga även på andra statliga och privata aktörer. Arbetet har genomförts av flera forskargrupper vid FOI, vilka skrivit ett kapitel var. Kapitlen kan läsas var och ett för sig eller sammanhållet. Inledningskapitlet, *Ett nytt Arktis växer fram – två scenarier för utvecklingen i Sveriges norra och nordvästra närområde*, målar upp spelplanen och ger två tänkbara scenarier för utvecklingen i Arktis.

Mycket av den kunskap som denna rapport baseras på existerar tack vare uppdrag FOI redan genomfört eller utfört parallellt med denna studie. För tidigare säkerhetspolitiska

studier med Arktis-fokus, se www.foi.se/arktis. Arktis som insatsområde har nyligen studerats inom ramen för FoT-projektet *Miljöpåverkan vid insats*¹. I FoT-projektet *MilRymd (Militära Rymdförmågor)* har en kunskapsuppbyggnad kring rymdrelaterade frågor pågått i över tio år, och en viktig del i arbetet om Arktis och rymd har varit den omvärldsbevakning och -analys som sker inom det FoT-projektet. För övriga områden finns relevant kunskap men inte direkt erfarenhet av Arktis.

Slutligen några ord om vår definition av Arktis. Flera olika definitioner av Arktis används i litteraturen. I huvudsak definierar vi i den här rapporten Arktis med området norr om 60 grader nordlig bredd i syfte att söka fånga bredden av frågor och aktörer. Vi har funnit detta vara en relevant definition när frågor med svenskt Arktis-perspektiv är i fokus. I praktiken har studien fokuserats mot vad vi här valt att kalla den nordatlantiska ellipsen, dvs. ett område innefattande Nordkalotten och Svalbard, med utsträckning från Grönland i väster till Novaja Zemlja i öster och mellanliggande havsområden.

¹ Se bl.a. Darin Mattsson och Simonsson (2012).

2 Ett nytt Arktis växer fram – två scenarier för utvecklingen i Sveriges norra och nordvästra närområde

Huvudsyftet med detta avsnitt är att ge en överblick över flera av de faktorer som är på väg att kraftigt förändra Arktis. För att ge en bredd på utfallsrummet av möjliga utvecklingar har också två enkla scenarier konstruerats. Dessa tillsammans med de tekniska utvecklingar som beskrivs i övriga avsnitt ger en bättre bild av de utmaningar som ett annorlunda Arktis kan komma att ställa oss inför.²

2.1 Utblick

Ett nytt Arktis växer fram, drivet främst av klimatförändringar. Utvecklingen är osäker, då det är svårt att förutse hur faktorerna under förändring kan komma att interagera med varandra. Istäcket i Norra ishavet minskar och tunnns ut, liksom inlandsisen på Grönland som smälter i allt snabbare takt. Med stor sannolikhet är detta en långsiktig trend med en rad geostrategiska följd effekter för Arktis och därmed för Sveriges norra och nordvästra närområde. De olika faktorerna under förändring i Arktis utvecklas enligt egen inre logik och hastighet. Växelverkan mellan dem gör utvecklingen än svårare att förutse. Därtill kopplas Arktis till utvecklingar i övriga delar av världen på ett tydligare sätt än tidigare.

Omfattande internationella bi- och multilaterala samarbeten utvecklas för att söka hantera den nya verklighet som växer fram i Arktis. Samtidigt är de olika regionala och externa statliga aktörerna olika långt framme i att formulera sina strategier och handlingsplaner för regionen. Samarbetena är ofta framgångsrika, men de stora intressena rörande energi, sjöfart, miljö, säkerhet och de förändrade suveränitetsförhållanden som står på spel kan påverka den säkerhetspolitiska utvecklingen i Arktis.

Utvecklingen kommer att avgöras av hur de olika arktiska aktörerna balanserar sina respektive handlingslinjer mellan hårda realpolitiska intressen, vardagligt utbyte och samarbete på kortare och längre sikt.

Sveriges norra och nordvästra närområde påverkas därmed direkt och indirekt. Inte minst sett i ljuset av 2009 års solidaritetsförklaring, där förutom EU:s medlemsstater även Norge, Island och Grönland ingår, framstår analys och framtagande av svenska handlingslinjer för denna region som en allt viktigare fråga.³

2.2 Viktigare faktorer under förändring

2.2.1 Sjöfart

Bland de viktigaste förändringarna i Arktis är att regionen är på väg att öppnas för sjöfart. Nordostpassagen (från Nordkap österut norr om Sibirien till Berings sund) och Nordvästpassagen (norrut väster om Grönland, via kanadensiska skärgården västerut till Berings sund) och en rutt över Norra ishavet via Nordpolen är de tre som oftast diskuteras. Flera av de rutter som öppnas mellan Europa och Asien är betydligt kortare än de som används idag. Även om isen smälter kommer den transoceana sjöfarten genom regionen –

² Denna text är en redigerad och uppdaterad version av ett kapitel som ingått i det underlag som togs fram för arbetsgrupp säkerhetspolitik ("FOI:s underlag till AG Säkpöl 2012", FOI-2012-841, 2012-08-30 0).

Scenarierna ingick inte i detta underlag utan har tagits fram särskilt för denna studie. På FOI bedrivs sedan några år analysarbete rörande det nya Arktis. En rad delstudier har tagits fram och finns förtecknade i referenslistan, se Granholm (2008) till Granholm och Malminen (2011).

³ Försvarsutskottets betänkande 2008/09:F6U10 "Försvarets inriktning", antagen av Riksdagen 16 juni 2009.

ännu blygsam men ökande – att bero av vilka investeringar som görs för att göra den rimligt säker. Troligen kommer sjöfarten genom Arktis, främst av kommersiella skäl, att öka språngvis. Det kan i sin tur leda till säkerhetsrisker eftersom lotsning, farleds-utveckling, räddningstjänst, sjömätning samt inte minst räddningstjänst och miljöskydd kommer att vara alldeles otillräckliga relativt behoven. Tonnage speciellt anpassat för arktisk sjöfart kan i det korta till medellånga perspektivet vara en bristvara, vilket också kan bidra till ökade risker. Förutom den transoceaniska sjöfarten genom Arktis har också efterfrågan på olika typer av specialfartyg kopplade till energiprospektering, energiutvinning, oceanografisk forskning och sjömätning ökat på senare år. Sjöfartens utveckling i Arktis är beroende av förhållandena i regionen, men påverkas också av utvecklingen i andra delar av världen. Om de transoceaniska farleder och farvattensförträngningar som används idag skulle påverkas av bristande sjösäkerhet, kris, konflikter eller klimatförändringar, skulle sjöfart genom Arktis framstå som relativt sett mer attraktivt. Internationell sjöfart är en helt globaliserad kommersiell verksamhet med hård pris-konkurrens och flyttar dit där kostnaden är mest fördelaktig.

2.2.2 Resurser och territoriella frågor

De energiresurser som antas finnas i Arktis är stora. De mest omfattande analyserna har gjorts av US Geological Survey och uppskattar att 30 % av den globala tillgången på naturgas och 13 % av den globala tillgången på olja skall finnas i Arktis (se US Geological Survey (2008) samt Gautier et al. (2009)). Därtill beräknas Arktis innehålla stora mineraltillgångar på land och till havs. Även om isen minskar kommer energi- och mineralutvinning att vara komplicerad. Inte minst är den förknippad med miljörisiker eftersom naturmiljön är mycket känslig, särskilt vad gäller energiutvinning till havs.⁴ Utvecklingen av teknologi för utvinning, råvarupriser, samt vem eller vilka som får tillträde till områden för utvinning kommer att avgöra hur omfattande verksamheten i Arktis blir. Utvecklingen kommer att vara ett resultat av en dynamisk process mellan alla dessa faktorer.

I Arktis finns ett flertal överlappande territoriella anspråk. De flesta av dessa kommer troligen att kunna hanteras enligt regelverket i FN:s havsrättskonvention (*UN Convention on the Law of the Sea*, UNCLOS). Stater med anspråk ska enligt denna internationella legala regim lämna in naturvetenskapligt väl underbyggda s.k. notifieringar till kontinentalsockelkommissionen (*Committee on the Limits of the Continental Shelf*, CLCS), ett av organen i UNCLOS, för behandling. Ett växande antal notifieringar, där de som rör Arktis endast utgör en mindre del, ligger nu för behandling. CLCS har påpekat att väntetiden för att hantera det f.n. knappa sextioalet ansökningar är mycket lång, givet kommittéens nuvarande resurser och arbetstakt. Risker finns därför att i avvägningen mellan en strävan att följa de folkrättsliga avtal en stat skrivit under och centrala nationella intressen (energi, nationell säkerhet, fiske m.m.) prioriteras det senare till det folkrättsliga regelverkets nackdel. Om så skulle ske skulle UNCLOS i värsta fall försvagas.

2.2.3 Den militärstrategiska utvecklingen

Den militärstrategiska utvecklingen i Arktis är en annan del av förändringarna i regionen. Denna utveckling går huvudsakligen i tre olika spår. För det första förändrades regionens betydelse efter det kalla krigets slut när konfrontationen mellan supermakterna avtog. Samtidigt fortsatte patrulleringen med kärnvapenstrategiska ubåtar vid iskanten och under polarisen och den därmed sammanhängande underrättelseverksamheten. Spanings-systemen mot anflygande interkontinentala kärnvapenrobotar och för att detektera undervattensverksamhet hålls fortsatt aktiva. Sedan några år har aktiviteten i denna strategiska dimension åter ökat, även om den ligger långt under nivåerna under det kalla krigets dagar.

⁴ Se också avsnitt 3.3.

För det andra har den militära eller paramilitära, särskilt marina, närvaron ökat som en följd av s.k. suveränitetshävdande politik som flera av de arktiska staterna på olika sätt redan bedriver och nu utökar. Detta hänger främst ihop med den förväntade allmänt ökade aktiviteten i Arktis, särskilt fiske, energiutvinning och sjö- och miljösäkerhet, men har också till syfte att sända lämpliga signaler till andra aktörer att man har definierat sina intressen och står beredd att backa upp ord med handling om så skulle krävas. Följden blir att flera av de arktiska kuststaterna, t.ex. Danmark och Kanada nu på olika sätt bygger upp eller förnyar och moderniserar sina kapaciteter för denna typ av verksamhet.

För det tredje kan Arktis komma att spela en roll i den pågående utbyggnaden av ballistiskt missilförsvar (*Ballistic Missile Defence*, BMD), ett system för att kunna skjuta ner enstaka anflygande interkontinentala robotar. Huvuddelen av missilförsvarets delkomponenter planeras bli baserade ombord på fartyg. Detta tillsammans med att isavsmältningen underlättar närvaro av fartyg samt att flera tänkta robotbanor till och från Nordamerika går över Arktis, ökar regionens militärstrategiska betydelse ytterligare. Mark- och rymdbaserade system kommer också i fokus. Av stater i regionen kommer sådana fartyg inte enbart att betraktas som en del av ett framtida BMD-system, utan också som en manifestation av marin maktprojektion, delvis kopplad till de två ovan nämnda utvecklingarna.

Sammanfattningsvis ökar antagligen den militära och paramilitära närvaron i det nya Arktis. Till följd av regionens militärgeografiska karaktär står särskilt marina enheter och flygstridskrafter i fokus. Detta behöver inte i sig betyda ökad kris- och konfliktrisk. Den militärstrategiska utvecklingen i det nya Arktis kommer att vara starkt kontextberoende och behöver analyseras noggrannare än vad som gjorts hittills.

2.3 Förändringar i den nordatlantiska regionen – Grönland, Island och Barentsregionen

Sveriges norra och nordvästra närområde påverkas både direkt och indirekt av den utveckling som skisserats ovan. Dessutom är en förändring av den nordatlantiska regionen⁵ på väg. Denna förändring accelereras delvis av framväxten av ett nytt Arktis, samtidigt som delar av den ändå var på väg eller har andra grundorsaker.

2.3.1 Grönland

Grönland är på sikt på väg mot full självständighet. Detta sker i kraft av grönländarnas sedan länge uttryckta vilja i val och folkomröstningar. Man är en del av det danska ”Rigsfælleskabet”, men har sedan 2009 ett långtgående självstyre under vilket man successivt får ta över allt fler statliga funktioner. Danmarks hållning är sedan länge att om Grönland så önskar får man självständighet, men att Grönland i så fall självt får stå för alla kostnader. Där har diskussionen hittills stannat, men det nya Arktis öppnar möjligheter för Grönland att finansiera självständigheten med egna inkomster i stället för som hittills ur den danska statsbudgeten. Grönlands förhoppning är att ett varmare klimat, energi- och mineralutvinning, fiske och turism ska generera tillräckliga inkomster för full självständighet. Därtill är Grönland inkopplat i de storstrategiska sammanhangen i och med den amerikanska radar- och satellitkommunikationsbasen vid Thule/Pituffik på nordvästra Grönland. Vilket sorts Grönland som växer fram – rikt och med egna resurser att betala för självständighet och säkerhet eller ett fattigt med svaga möjligheter att hävda sin suveränitet – går inte att med säkerhet säga idag.

⁵ Definitionen av området är inte exakt, men innefattar ungefärligen Grönland, Island, Nordkalotten, Barents hav, Svalbard bort till Novaja Zemlja med mellanliggande havsområden.

2.3.2 Island

Islands strategiska ställning är under förändring. Den ekonomiska krisen har antagligen passerat sitt absoluta bottenläge, men mycket återstår innan landet är tillbaka till utgångsläget före 2008 års akuta finansiella kris. I samband med krisen ansökte Island också om EU-medlemskap. Förhandlingar om villkoren för medlemskap pågår. Island, obehövad Nato-medlem sedan 1949, har också fått se sin militärstrategiska ställning påverkas. Den permanenta amerikanska militära närvaron på Island som påbörjades våren 1941 avslutades 2006. Den ersattes då med en stafett för incidentberedskap med flygstridskrafter från Nato-länderna, s.k. air-policing. Närvaron är maximerad till endast två eller tre veckor per kvartal, resten av tiden anses det tillräckligt med radarövervakning. Stängningen av den amerikanska Keflavikbasen 2006 sammanföll med återkomsten av rysk närvaro med strategiskt flyg och en ökad marin närvaro i Norra ishavet och Nordatlanten. Även om inga kränkningar såvitt känt har skett av isländskt luftrum och sjöterritorium, skapar det osäkerhet i regionen och inte minst i Island om ryska avsikter. Islands säkerhetspolitiska och strategiska utveckling ligger därmed inte i fas med den säkerhetspolitiska och strategiska regionala utvecklingen. Därtill tycks det folkliga missnöjet med hanteringen av den ekonomiska krisen och säkerhetsfrågans utveckling växelverka med Islands politiska liv. Det är därför svårt att förutse den vidare utvecklingen i Island. Klart står dock att Islands kriser är långsiktiga, även om landet också har några tydliga fördelar; närmast gratis geotermisk energi, en relativt hög utbildningsnivå samt inte minst en välskött fiskenäring.

2.3.3 Barentsregionen

Den starka utvecklingen i Barentsregionen är en direkt påverkansfaktor för Sverige.⁶ Regionen kan sägas vara en knutpunkt för alla de utvecklingar som det nya Arktis inrymmer; nordostpassagen går igenom området, fiskevattnen är rika, olje- och gasfyndigheterna är stora, det finns kvarstående territoriella tvister rörande tolkningen av Spetsbergentraktaten och områdets naturmiljö är mycket känslig.⁷ Barentsregionen anses därtill vara av central militärstrategisk betydelse för Ryssland i kraft av Norra marinens strategiska ubåtar med hemmabas på Kolahalvön. En viss militär upprustning har påbörjats. Barentsregionen genomgår också en mycket stark ekonomisk utveckling med inflyttning, nya gruvor, nybyggnad av infrastruktur (vägar, järnvägar, hamnar, stadsutbyggnad, kraftverk och kraftledningar, pipelines m.m.). Barentsregionens geostrategiska betydelse är i ökande.

2.4 Samarbete och institutionell utveckling

De olika statliga aktörerna – regionala och externa – i och runt Arktis har utvecklat sina handlingslinjer olika långt och enligt respektive geopolitiska förutsättningar. På senare år har flera aktörer visat allt större intresse för den arktiska regionen. Förutom de åtta arktiska staterna, är EU på väg att utveckla sina handlingslinjer för Arktis. De större europeiska staterna – Tyskland, Storbritannien och Frankrike – visar också intresse för regionen. I Asien är Kina, Sydkorea, Japan och i viss mån Indien de tydligaste intressenterna. Därutöver finns ett stort intresse från icke-statliga aktörer: näringslivet samt ideella organisationer med olika inriktning.

⁶ Med Barentsregionen avses här Barents hav med nordligaste Norge, Svalbard, svenska Norrbotten, finska Lappland och Kolahalvön.

⁷ Enligt Svalbardstraktaten, eller Spetsbergentraktaten, från 1920 är ögruppen under norsk suveränitet och permanent demilitariserad. Signatärstaterna till Svalbardstraktaten äger rätt att fritt idka näringsverksamhet samt jakt och fiske på öarna. Norge önskar utvidga Spetsbergentraktatens område från 12 till 200 nautiska mil, men har inte fått stöd från någon av de övriga signatärmakterna för detta.

Det samarbetsorgan som står tydligast i fokus är Arktiska rådet, som fått en mer central roll under de senaste åren.⁸ Från att ha varit en s.k. ”bottom-up”-organisation, där naturvetenskaplig forskning och dialog mellan urbefolkningar och arktiska stater stått i fokus, kompletteras nu Arktiska rådet med ett ”top-down”-perspektiv som följd av det ökade intresset för Arktis från rådets åtta medlemsstater och observatörer. Från att ha varit en tämligen lågmäld verksamhet tilldrar sig nu Arktiska rådet ett allt större politiskt och massmedialt intresse. Framgångarna har varit tydliga: bland dem kan nämnas ett bindande avtal rörande räddningstjänstresurser i Arktis och ett oljeskyddsavtal som nu är under förhandling. Institutionellt har Arktiska rådet nyligen beslutat om att inrätta ett permanent sekretariat med en egen budget. Arktiska rådets möjligheter att agera har dock flera begränsningar i och med att det enligt sina statuter inte tillåts hantera de militära säkerhetsfrågorna eller frågor som hänger samman med dessa.⁹

Dagens institutionella förhållanden reser en rad frågor ställt mot den här beskrivna geostrategiska dynamiken. I vilket eller vilka fora ska de militära säkerhetsfrågorna i det nya Arktis hanteras? Vilken vidare institutionell utveckling kan väntas för Arktiska rådet? Vilken utveckling vore önskvärd? Borde andra organ och funktioner utvecklas för att möta det nya Arktis? I så fall vilka?

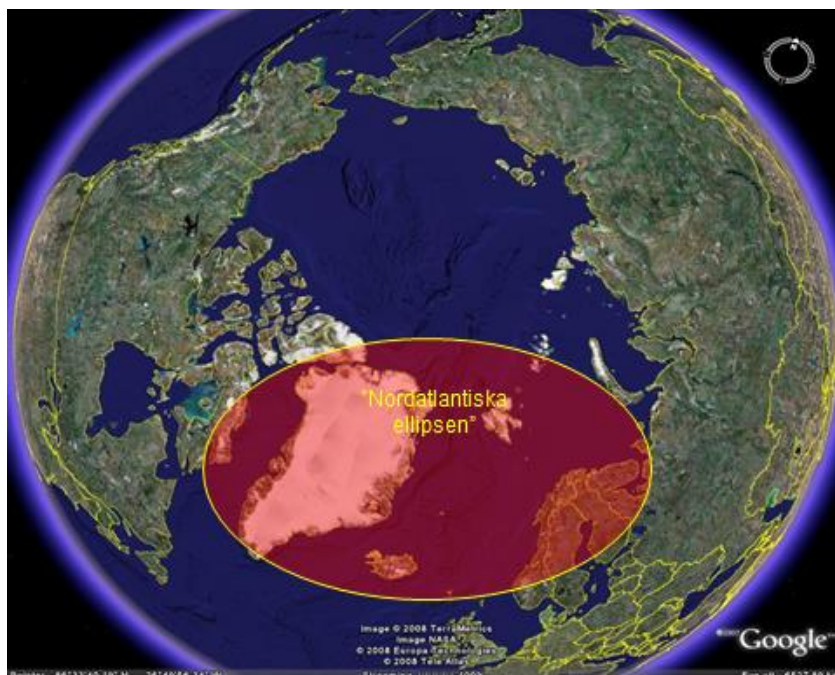
En annan del av utvecklingen i Arktis rör hur rollen för regionens externa aktörer (stater, kommersiella intressen och ideella organisationer) förändras. Hur ska deras aktiviteter kunna hanteras och regleras på lämpligt sätt i ljuset av de starka nationella intressen och stora ekonomiska resurser samt ideella intressen som uppfattas stå på spel?

2.5 Två scenarier för Arktis

I framtagandet av två scenarier för möjliga utvecklingar i Arktis har vi valt att ta fasta på en framtid inom den närmaste fem till tio åren. Området som valts är inte hela Arktis utan den del som ligger närmast Sverige och som kan sägas utgöra landets norra och nordvästra närområde och därför har den starkaste påverkan på Sverige: Nordatlanten mellan Grönlands västkust, österut till Island och vidare bort till och med Barentsregionen med Nordkalotten inklusive Spetsbergen i norr och mellanliggande farvatten, utgör det ungefärliga området. Området kan sammanfattas geografiskt under etiketten ”nordatlantiska ellipsen”, se Figur 1.

⁸ I Arktiska rådet ingår åtta medlemmar: USA, Kanada, Danmark, Norge, Ryssland, Island, Finland och Sverige.

⁹ I Ottawa-deklarationen av den 19 september 1996 där Arktiska rådet etableras, specificeras kort och koncist i en fotnot till paragraf 1(a) att ”The Arctic Council should not deal with matters related to military security.”



Figur 1: Den nordatlantiska ellipsen. Bild: Google Earth.

För att söka beskriva utfallsrummet, har två enkla scenarier konstruerats – ett godartat i ”Bra relationer” och ett elakartat ”Det stora spelet i kall version”. Syftet är att ge en bild av det möjliga utfallsrummet för regionen. Scenarierna beskrivs nedan i tabellform.

Tabell 1: Två scenarier för Arktis framtid med en tidsram om 5-10 år.

Tidsram: 5-10 års sikt	
<i>I) ” Bra relationer”</i>	<i>II) ” Stort spel i kall version”</i>
Resursutvinning Ryskt/nordiskt/västligt samarbete om energiutvinning med strikta miljöregler.	Resursutvinning Energiutvinning sker ofta med otillräcklig hänsyn till säkerhet. Olyckor inträffar.
Naturmiljön Ansvarsfull utvinning av naturresurser. Fiskeavtal fungerar.	Naturmiljön Skadas då liten hänsyn tas. Urbefolkningars intressen åsidosätts.
Sjöfart Farleder öppna, används med tillräcklig säkerhet. Trafiken ökar år från år. Turism, kryssningar sköts ansvarsfullt.	Sjöfart Osäker: stor risktagning, flera ”lycksökare”. Viss utveckling av farlederna sker, men mest symboliskt.
Militär aktivitet Låg militär spänning, samövningar. Överenskommelser om räddningstjänst finns och fungerar. Säkerhets- och förtroendeskapande åtgärder utvecklas.	Militär aktivitet Hög aktivitet. Incidenter, kränkningar del av mönstret. Intensiv övningsverksamhet Spaning och övervakning är omfattande (rymd, flyg, sjö, under vattenytan)
Nationella intressen Ryssland på väg att sakta integreras med övriga. Ryssland är en utpräglad råvarunation. Kina är inte populärt i regionen pga. sitt snäva fokus på utvinning av naturresurser och hårda uppträdande gentemot de mindre arktiska staterna. I USA är	Nationella intressen Väst, Ryssland, Kina, USA m.fl. statliga och icke-statliga aktörer alla aktiva i Arktis. Flera av de externa statliga aktörerna uppvaktar de små arktiska staterna hårt för att få tillgång rätt till naturresursutvinning.

<p>Arktis lågt prioriterat, men man agerar diskret i bakgrunden. USA har anslutit sig till Havsrättskonventionen (UNCLOS).</p> <p>Multilateralt samarbete utvecklas.</p> <p>Arktiska rådet är den centrala arenan för nästan allt som rör Arktis.</p> <p>Process med territoriella anspråk pågår i lugn takt och utan större åthävor.</p>	<p>Få nya samarbetsavtal tas fram, de som finns följs dåligt eller inte alls.</p> <p>Överlappande territoriella tvister löses ej, vilket ger upphov till spänning och friktion.</p>
<p>Norden</p> <p>Solidaritetsförklaringen har medfört att Sverige har mer aktivt formulerade målsättningar som man agerar på. Nordiskt samarbete har styrfart och är ”inklusive”.</p> <p>Nordatlantiska ellipsen hänger ihop och ses som ett sammanhang i Kontinentaleuropa, i Nordamerika och i Norden.</p>	<p>Norden</p> <p>Målsättningarna i den svenska solidaritetsförklaringen visar sig svåra att förverkliga, men fokus ligger på att försöka upprätthålla den transatlantiska relationen. Vissa insatser görs, men det blir ofta ”styckevis og delt”/symboliskt och utan kontinuitet. Svensk resursbrist, då Östersjön prioriteras och kräver mycket av redan knappa resurser.</p>
<p>EU</p> <p>Rollen i regionen är definierad och bidrar till dialog om regionens utveckling.</p> <p>Driver och finansierar omfattande forskningsprogram om Arktis.</p> <p>Island är EU-medlem, fungerande fiskeavtal. Kina, Ryssland gör investeringar på Island.</p> <p>Norge är ej med i EU.</p> <p>Sverige är ej med i Nato, men står så nära alliansen det går</p> <p>Grönland är snart fullt självständigt, stött på snabbt utvecklad ekonomi. Samarbete med EU om fiske och jakt m.m.</p>	<p>EU</p> <p>Spelar liten roll i regionen.</p> <p>Island har röstat nej till EU i folkomröstning. Nationellt fokus på skydd av fiskeresurserna. ”Tuff” kustbevakning.</p> <p>Grönland är nästan självständigt, men har ont om ekonomiska resurser. Dåliga relationer till EU. Kinesisk-stödd mineralutvinning på Grönland. Avtal om Thulebasen med USA. Grönland har svårt att självt hävda sin suveränitet.</p> <p>Norge betonar starkt sin relation till ett gradvis allt mindre intresserat USA, Norge alltmer tveksamt till EU:s roll i regionen, energiexporten sköts bilateralt.</p>
<p>Nato</p> <p>Förnyat och reformerat. ”PfP+”. Forum för utbyte och diskussion om Arktis. Sverige engagerad medlem av ”PfP+”.</p>	<p>Nato</p> <p>Agerar ibland, men har svårt med långsiktigheten. Sverige retoriskt med i PfP, men sköter i realiteten sina relationer bilateralt med ”vänner” i regionen samt söker engagera USA i den transatlantiska relationen.</p>

2.5.1 Implikationer av scenarierna

De två scenarierna är avsedda att ge ett utfallsrum av möjliga framtidsbilder för den del av regionen som studien omfattar. I det ”goda” scenariot innebär utfallet ett tydligare fokus på en ekonomisk utveckling av regionen där offshoreindustri, energi- och mineralutvinning, sjöfart, fiske och turism står i fokus. En starkt ökad mänsklig aktivitet följer också ur denna tänkta utveckling. De marin- och flygmilitära aspekterna kommer här att vara relativt tillbakadragna och främst fokuseras på utbyte, övningar och olika slag av förtroendeskapande åtgärder. De utmaningar som framträder rör främst de suveränitetshävdande uppgifterna som genererar en rad av olika uppgifter som traditionellt utförs av kustbevakningar. Norra Ishavet blir ett relativt fredligt, rent och stabilt hav som med åren blir alltmer öppet och tillgängligt.

I det andra scenariot har utvecklingen gått i riktning mot mindre förtroende och genererar alltmer av spänningar, friktioner och incidenter av olika slag. En ökad misstänksamhet har försvagat institutionell utveckling och viktiga avtal och överenskommelser om upp-

trädande i regionen kan inte utvecklas vidare. Nya avtal är allt svårare att få till stånd och de redan överenskomna börjar ifrågasättas alltmer. Efterlevnad av regler för ansvarsfull utvinning av naturresurserna är svag, samtidigt som aktiviteterna på detta område inte uppvisar någon tillväxt. I motsvarande grad som förtroendet mellan aktörerna i regionen försvagas, medför det i sin tur att resurser för hård säkerhet kommer i fokus. Medan kustbevakningsresursernas uppgifter blir mer krävande, ökar den marin- och flygmilitära verksamheten och ses efterhand som större och viktigare. En viss ökning av civil sjöfart sker och sjöfartsskyddet blir en viktigare uppgift för regionens mariner. Energi- och mineralutvinningen visar en ojämn trend som funktion av de lokala förhållandena – i vissa områden med tillräcklig stabilitet kan den bli omfattande, i andra uteblir den helt. Det militärstrategiska klimatet har i detta scenario hårdnat och blivit mer krävande. Det leder då och då till olika typer av incidenter. Försök att få till stånd olika slag av förtroendeskapande åtgärder får endast begränsad framgång. De geopolitiska motsättningarna blir allt skarpare. Norra Ishavet blir i denna framtidsbild ett närmast permanent orosmoment i den internationella politiken och får närmast rollen som ”problemgenerator” och arena för gamla och nya stormakter.

De två scenarierna är tänkta att beskriva ytterligheter i en framtidsbild för den del av Arktis som ligger norr och nordväst om Sverige. Sverige påverkas både direkt och indirekt av de förändrade förhållandena i denna region och behöver på något sätt förhålla sig till dem. I scenariot med ”Bra relationer” utvecklas regionen väl och utvinning av naturresurser sker för det mesta ansvarsfullt. Näringslivet accepterar i stort de regleringar som åläggs och fokus för kuststater och andra inom och utom regionen understödjer detta för att själva kunna vinna fördelar i en förutsägbar miljö. Det är i första hand säkerhet till sjöss i vid mening som kommer i fokus, och de resurser som är förknippade med lösandet av sådana uppgifter över tiden som blir viktigast. Det militära inslaget blir litet och fungerar lågmålt stabiliserande i bakgrunden men försvinner aldrig helt som faktor.

I det andra scenariot blir utvecklingen motsatt och regionen ses alltmer som en generator för problem som kan spridas utanför regionen då det finns risk för upptrappning av incidenter och motsättningar. De militära, då främst sjömilitära, resurserna ses i ökande grad som ett sätt att söka stabilisera regionen. Samtidigt blir de suveränitetshävdande och sammanhängande kustbevakningsuppgifterna mer av en utmaning för kuststaterna. Mer resurser och tuffare uppträdande krävs. Sjöfarten och näringslivet blir generellt mindre ansvarstagande och osäkerheten ökar, vilket drar till sig mindre nogräknade ”lycksökare”. Miljöproblemen blir svårare och då få eller inga nya överenskommelser kan ingås blir regionen i praktiken allt mer oreglerad.

För Sverige, med uttalade intressen av att regionen fortsatt skall vara stabil och att vi önskar bidra till det, innebär bägge scenarierna utmaningar av olika slag. Hur uppträder vi bäst i dessa två hypotetiska fall? Sverige är inte kuststat i regionen, men har ändå intresse av att naturmiljön inte förstörs, att näringsverksamheten kan utvecklas och att de potentiellt ”nya” handelslederna kan hållas öppnas och säkra. Dessutom vill vi förhindra en utveckling mot en allmänt sämre miljö avseende ”hård” säkerhet. Frågan om hur Sverige bidrar till att förverkliga dessa mål har då anmält sig. Vad som framstår som klart är att mellan de ytterligheter som beskrivs i de två översiktliga scenarierna kommer det alltid att finnas en blandning av bidrag av resurser och metoder för att främja ”mjuka” respektive ”hårda” säkerhetsfrågor. Frågan om vilka plattformar som idag skulle kunna verka i regionen, respektive vilka resurser som skulle kunna bli aktuella på längre sikt (> 10 år), och deras utformning, är central, men hanteras inte närmare i denna studie.

Resurser som uppträder i Arktis måste koordineras och kunna samverka. Detta förhållande – förbättrad samverkan – har bl.a. uppmärksammats i den utredning som undersökt hur de statliga svenska maritima resurserna kan användas och organiseras för att bättre möta det spektrum av hot och risker som omvärldsutvecklingen ställer.¹⁰ Utredningen hade inte i

¹⁰ ”Maritim Samverkan. Betänkande av Maritimumredningen”. Statens offentliga utredningar. SOU 2012:48.

sitt uppdrag inskrivet att specifikt studera utvecklingen i Arktis, men den förändrade omvärldsbild som beskrivits i detta avsnitt ger en strategisk relief för de frågor som analyseras längre fram i denna studie. Utredningens förslag blir i det ljuset än viktigare.

3 Ett gammalt Arktis smälter bort - klimatförändringar och miljöpåverkan

Klimatförändringarnas effekter på vädermönster, extremer och isförhållanden har en direkt påverkan på utformning av eventuella marina insatser och sjöfart i stort. Vidare bestäms förutsättningarna för insatser på längre sikt även av de konsekvenser som klimatförändringarna ger på andra naturliga och mänskliga system. Klimatförändringarna och medföljande isavsmältning medför en ökad stress på det arktiska ekosystemet och ökad ekonomisk aktivitet i Arktis bidrar till ökad risk för miljökatastrofer som kan komma att kräva komplicerade räddningsoperationer av olika slag.

Det är mycket viktigt att i god tid utveckla nödvändiga miljöhänsyn för eventuella insatser för att säkerställa att miljöpåverkan inte förvärrar en eventuell pågående konflikt, ger upphov till nya konflikter, ger juridiska och ekonomiska påföljder eller äventyrar en hållbar framtid. I detta kapitel redogörs kortfattat för de förändringar, hot och risker som den arktiska miljön står inför¹¹.

3.1 Pågående och framtida miljöförändringar

Både naturliga variabler, såsom solstrålning, vulkanutbrott, samt interaktionen mellan atmosfären och haven och mänskliga aktiviteter kan påverka klimatet. Iskärnor, sediment och andra informationskällor rörande klimatets historia tyder på att den nuvarande globala uppvärmningen är ovanlig och att den korrelerar med ökningen av växthusgaskoncentrationen i atmosfären som orsakats av mänsklig aktivitet (se t.ex. Forster et al. 2007, IPCC 2007). För att kunna förutse klimatförändringar och deras inverkan behöver två faktorer analyseras: (i) framtida utsläpp av växthusgaser och (ii) klimatsystemets respons på utsläppen (inklusive interaktioner med naturliga variationer). Även de mest konservativa prognoserna resulterar i slutsatsen att den globala medeltemperaturen i slutet av detta århundrade kommer att vara högre jämfört med det förra århundradet. Av alla världens regioner är uppvärmningen som störst i Arktis och havsisutbredningen har under de senaste somrarna visat en nedåtgående trend, liksom grönländsisarnas omfattning. Klimatscenarier för framtiden visar på samma mönster, med temperaturökningar på mellan 2-8 grader, beroende på vilket utsläppsscenario och klimatmodell som används (AMAP 2011).

3.1.1 Temperaturförändringar

Under flera decennier har den marknära temperaturen i Arktis ökat ungefär dubbelt så snabbt som den globala temperaturen. Den genomsnittliga uppvärmningen norr om 60° breddgraden är 1-2°C räknat sen ett temperaturminimum under 1960- och 70-talet. Det marina Arktis präglades temperaturmässigt under förra århundradet av långsamma temperaturvariationer (flera decennier). Senare observationer, med ökande temperatur, smältande havsis, glaciärer och permafrost samt höjd havsnivå utgör tydliga indikationer om att hela Arktis håller på att värmas upp. I Alaska och nordvästra Kanada har temperaturen ökat med 3-4°C under de senaste 50 åren (AMAP 2011).

Från 1980-talet fram tills nu är uppvärmningen av Arktis störst under vinter och vår, och minst under hösten. De norra delarna av Asien och nordvästra Nordamerika är de delar som värmts upp mest ur ett globalt perspektiv under de senaste årtiondena. 2011 fortsatte uppvärmningen av Arktis och takten är fortfarande ungefär dubbelt så stor som på sydligare breddgrader vilket stämmer väl med prognosresultaten (AMAP 2011).

¹¹ En utförligare redogörelse återfinns i Darin Mattsson och Simonsson (2012).

I framtiden kommer temperaturen antagligen öka mest under hösten och vintern över både land och hav (Christensen et al. 2007). De regionala skillnaderna inom Arktis varierar stort mellan olika klimatmodeller men samtliga förutsäger en markant mindre temperaturökning över norra nordatlanten än i andra delar av Arktis. I mitten av århundradet förutspår modellerna en temperaturökning mellan 2-4°C och i slutet av 2000-talet är prognosen en ökning med 4-7°C. Det är också tydligt att temperaturen kommer öka mer över landområden än till havs (ACIA, 2005). Dagliga minimumtemperaturer kommer att höjas snabbare än dagliga maximum.

Av stor vikt för marina insatser är att en mycket stor del av Arktis är mörkt och väldigt kallt under halva året. En regelbunden anpassning till denna säsongscykel i polarmiljön för människor och djur har också implikationer för maritima aktiviteter. Säsongerna och generella årliga vädermönster över havet i den arktiska miljön utgör en strategiskt viktig aspekt för planering av nutida och framtida system och procedurer för marina insatser.

Uppvärmningen i Arktis har stora implikationer för i princip alla system i Arktis. En noggrann övervakning av klimatförändringar och analys av dess effekter är av mycket stor betydelse för utformning av hållbara och effektiva marina insatser.

3.1.2 Förändringar av nederbörd och stormar

Observationer visar att det varmare klimatet redan leder till ökad avdunstning och ökad nederbörd (AMAP 2011). Det finns dock stora geografiska variationer och begränsningar i antalet mätstationer, liksom svårigheter att mäta nederbörd i ett blåsig klimat. Men även flödet i regionens floder visar en ökning som överensstämmer med temperaturförändringar och den atmosfäriska cirkulationen (Meehl et al. 2007). Det är också tydligt att nederbörd nu kommer i störst utsträckning under vintern istället för under vår och höst (AMAP 2011).

Nederbörden prognostiseras öka de närmaste 20 åren och skillnaden mellan olika prognoser är marginell under första halvan av 2000-talet. Den procentuella ökningen i nederbörd under perioden 2011-2030 är 4,3 % jämfört med referensperioden 1981-2000 (ACIA 2005). I överensstämmelse med temperaturprognoserna sker nederbördsökningarna mest under höst och vinter och minst under sommaren. Nederbördsökningarna är liksom temperaturökningarna större i Arktis än globalt (Meehl et al. 2007). Den största ökningen kommer sannolikt ske i kustområden.

Det finns inga säkra bevis för en högre frekvens av stormar i Arktis men sårbarheten har ökat eftersom kusterna inte längre skyddas av lika mycket is och permafrosten tinar. En förändring i stormbanor har också noteras (se t.ex. Christensen et al. (2007) samt Trenberth et al. (2007)) men enligt ACIA (2005) är de analyser som finns otillräckliga för att kunna dra slutsatser om möjliga framtida förändringar. I IPCC:s senaste specialrapport om extremväder framkommer att det är sannolikt att stormfrekvensen kommer att öka (IPCC 2012).

Den största delen av nederbörden kommer i form av snö som blåser omkring och ackumuleras i drivor. I marina miljöer samlas den kring iskanter och andra delar av isen vilket kan medföra ytterligare problem för navigering. Under sommaren försvinner dock i stort sett all snö förutom på glaciärområden.

En ökad nederbörd innebär också en ökad molnighet och påverkar isförhållanden vilket kan behöva beaktas vid utformning av marina insatser.

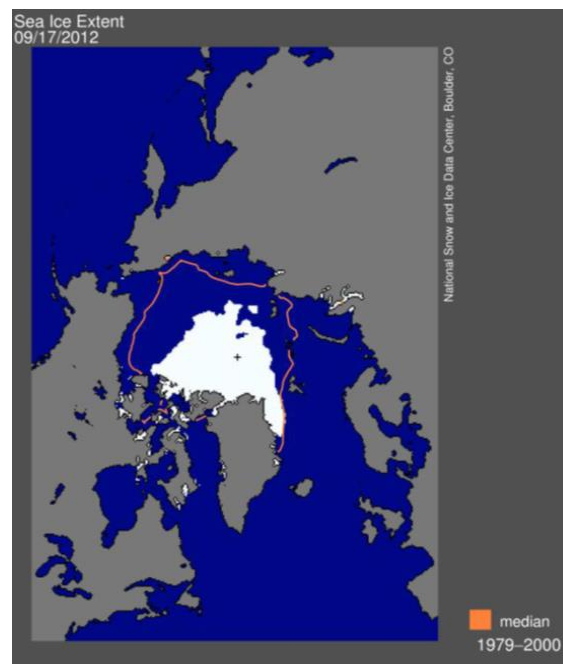
3.1.3 Förändringar i havsis

De senaste 30 åren har det genomsnittliga området täckt av havsis minskat med 8 %, en yta större än Danmark, Norge och Sverige tillsammans. Isens tjocklek har också minskat med mer än 10 % under perioden (ACIA 2005). Arktis havsis har alltså blivit mindre, tunnare och utgörs i minskande grad av is som består från ett år till ett annat år. Under de

senaste 10 åren har takten varit ännu högre och överskrider både ACIA:s (2005) och IPCC:s (2007) prognoser. De förändringar i havsisens utbredning, tjocklek och ålderssammansättning som observerats under det senaste decenniet (2001-2012) tyder på att Arktis havsklimat har förändrats i grunden. Skillnader mellan enstaka år uppstår bland annat på grund av variationer i väderförhållanden, men de förklarar inte den observerade trenden. Dessa långsiktiga trender förväntas fortsätta dock med variationer från år till år.

År 2007 var det år då en rekordliten isutbredning fick stor uppmärksamhet. Detta ledde till vissa diskussioner om huruvida avsmältningen av Arktis havsis skulle närma sig en tröskel ("tipping point"), vars överskridande skulle innebära ett snabbt skifte till havsisfria sommarförhållanden. Senare studier tyder inte på detta (se t.ex. Tietsche et al. (2011), samt Rummukainen et al. (2011)), utan projektioner av havsisytans fortsatta minskning associeras till storleken på temperaturökningen. Uppgifterna i IPCC:s fjärde bedömningsrapport (IPCC 2007a) tyder på att en global medeltemperaturhöjning med 2°C skulle leda till en 10–60% minskning av Arktis havsistäcke under sommaren (juli, augusti och september). En minskningstakt med mer än 10 % per årtionde har redan uppnåtts i verkligheten (Rummukainen et al. (2011)).

Som Figur 2 visar leder den minskande havsisen till att nordost- och nordvästpassagen kan bli isfria och farbara. Det kommer att inträffa allt oftare och under längre perioder under de kommande årtiondena. Nordostpassagen var 2012 isfri från mitten av augusti och nordvästpassagen har också varit isfri, men endast den södra vägen har här varit öppen. Under det tidigare rekordåret 2007 var både den norra och södra vägen i nordvästpassagen farbara. Det är därför viktigt att inte bara fokusera på den totala isutbredningen. Isförhållandena mellan 2007 och 2012 uppvisar regionala skillnader med viktiga implikationer för framkomlighet, och även om 2012 hade rekordliten isutbredning kunde alltså inte fartyg ta sig fram genom den norra vägen som delvis blockerades av is som strömmade in vid en storm i augusti. Den regionala variabiliteten noterades också 2007 då ett sund (Framsundet mellan Grönland och Svalbard) faktiskt hade mer is än vanligt. Det kan också nämnas att oljebolaget Shells verksamhet vid en av sina borrhingsplatser fördröjdes 2012, trots att det nästan var helt isfritt, eftersom små isflak hotade plattformen och företaget fick temporärt avbryta sin verksamhet i Arktis.



Figur 2: Havsisutbredning i Arktis den 17 september 2012. Den orangea linjen visar medianutbredningen 1979-2000 för samma dagsdatum. Det svarta korset markerar den geografiska nordpolen. Källa: National Snow and Ice Data Center, Boulder CO, USA.

Trots minskningen och prognoser om helt isfria somrar kommer istäcken i Arktis dock alltid förekomma. Isförhållanden kommer att medföra utmaningar även i framtiden och få betydande implikationer för framtida marina aktiviteter, samt för utveckling av fartyg som tar hänsyn till både säkerhet och miljöskydd. Övervakningsprogram och förbättrade regionala observationer i realtid av isutbredning och isens tjocklek kommer att krävas för marina insatser.

Det återstår fortfarande mycket forskning för att få en fullständig förståelse av nutida och framtida trender för den arktiska havsisen. Förhållanden för fartyg i Arktis kommer även fortsatt utgöra en utmaning, särskilt under vintern. Det är också troligt att den arktiska havsisen kommer bli mer rörlig, särskilt under vår, sommar och höst.

En stor årlig variation i isutbredning kan också medföra en strategisk utmaning för planering och utveckling av marina insatser. Även korta isfria perioder under sommaren kan medföra att flerårig is försvinner. Detta får konsekvenser för marin design, konstruktion och förmåga att verka. Längre säsonger av öppet vatten ökar potentialen för större erosion längs kusterna vilket kan få konsekvenser för infrastruktur som marina insatser är beroende av.

3.2 Klimatförändringars inverkan på det marina ekosystemet

Klimatförändringar förändrar ytvattnets salthalt, temperaturen och havsisens utbredning vilket förändrar hela den arktiska näringskedjan. Observationer i det marina ekosystemet antyder vad som bäst beskrivs som omvälvande och ihållande förändringar. Exempelvis ökade primärproduktionen av fytoplankton i havet med ca 20 % mellan 1998 och 2009, huvudsakligen som ett resultat av att större områden under längre tid blivit isfria (Richter-Menge et al. (2011)). Även isen har stor betydelse för primärproduktionen då isen utgör substrat för encelliga alger. Dessa alger utgör i sin tur föda åt främst kräftdjur. (AMAP 1997). Reduktion av ismassan reducerar denna biotop. Även förändringar på havsbotten är dramatiska och inkluderar skillnader i artsammansättning, geografisk spridning och biomassa (Richter-Menge et al. (2011)).

Många djur är helt beroende av havsisen. Isbjörnen är kanske det mest kända exemplet och är beroende av isen både som jaktmark och för reproduktion. Även ett flertal sälararter, havsfåglar och valrossen är helt beroende av havsisen för sin överlevnad. Utöver förlusten av det naturliga habitatet orsakar klimatförändringar ytterligare hot mot dessa och andra arter.

Ökad risk för sjukdom, mer föroreningar som förs till Arktis genom förändrade hav- och vindströmmar, konkurrens från migrerande arter söderifrån och ökad mänsklig aktivitet är exempel på ytterligare hot (AMAP 2011).

3.3 Marina insatser påverkas och påverkar

3.3.1 Ökad aktivitet

Arktis är rikt på naturresurser och fyndigheter av både olja, gas och mineraler har observerats. För närvarande producerar regionen ca en tiondel av världens olja och en fjärdedel av dess naturgas. I takt med isavsmältning kan ökad exploatering förväntas. Med exploatering följer en större miljöpåverkan och ökande risker för olyckor och miljökatastrofer (AMAP 2007).

Fisk är ytterligare en naturresurs som finns i Arktis och redan idag utgör fisken en viktig proteinkälla ur ett globalt perspektiv och är en central del av regionens ekonomi. Delar av Berings och Barents hav räknas bland de mest produktiva i världen (ACIA 2005). Klimatförändringar kan potentiellt orsaka stora ekosystemförändringar med stor inverkan

på fisket. Den minskande havsisen gör större områden tillgängliga för fiske och mindre havsis leder också till ökad biologisk produktion (AMAP 2011).

Med mycket stor sannolikhet leder dessa omständigheter till ökad ekonomisk aktivitet i arktiska vatten. Utöver att aktiviteterna i sig självt leder till växande miljöpåverkan ökar även risken för olyckor och miljökatastrofer med påföljande räddningsinsatser. Ökad kommersiell närvaro kan leda till ökat behov av övervakning och patrullering. Ökad turisttrafik, inklusive med stora kryssningsfartyg, i området understryker även behovet av beredskap för räddningsinsatser.

3.3.2 Insatser påverkas av miljön

Militära insatser i Arktis innebär såväl att miljön i Arktis kommer att påverka personal och materiel som att insatsen riskerar att påverka den arktiska miljön.

Varje insatsmiljö har sina möjligheter och utmaningar. Den arktiska är emellertid troligen den mest oförlåtande insatsmiljö som överhuvudtaget existerar, möjligen i konkurrens med de mest extrema ökenförhållandena. Det är extremt kallt, svåra isförhållanden, mörkt under vinterhalvåret och det kan dessutom förekomma vindar på 40-50 m/s. Små misstag, främst under vinterhalvåret, kan därför få ödesdigra konsekvenser.

Vidare leder klimatförändringar till att permafrosten släpper med implikationer för byggnader och infrastruktur. Kusterosionen ökar när kusten inte längre skyddas av is och potentiellt fler stormar med högre intensitet ökar trycket. Infrastruktur av vikt för logistik och marina insatser, särskilt hamnar, möter därför förändrade förutsättningar och kan behöva anpassas till ett förändrat klimat samtidigt som kapaciteten för marin infrastruktur och krishantering måste byggas ut. De stora avstånden innebär dessutom att det är svårt att nå fram med hjälp och understöd inom rimliga tidsramar. Sammantaget ställer detta svåra, och ibland kostsamma, krav på personal, materiel och utbildning.

För att säkerställa marinens förmåga och för att undvika ökad belastning på ekosystem bör utbildning och material designas givetvis både utifrån de krav som den arktiska miljön medför, men även med hänsyn till miljöskydd. Därför behövs även riktlinjer för att säkerställa en minimering av miljöpåverkan ses över och noggrant utformas för insatser i Arktis.

3.3.3 Insatser påverkar miljön

Militära marina insatser i Arktis behöver anpassa sina aktiviteter till rådande arktiska miljöförhållanden, dels för att minimera risker för incidenter/olyckor dels för att minimera störningar på det arktiska ekosystemet. Inför insatser i denna miljö krävs att planeringen av olika förutsägbara moment genomförs genom samarbete mellan militär och expertis (biolog, ekolog eller motsvarande) på den miljö där aktiviteten ska äga rum. Härmed ges förutsättningar för att fåglar och vattenlevande djur, samt övriga organismer i marin miljö, skadas minimalt samtidigt som t.ex. en övning eller operation kan optimeras.

De miljökrav som finns idag och som marinen har att ta hänsyn till har sin grund i ett antal internationella konventioner vilka inte minst berör sjöfarten, t.ex. den internationella havsrättskonventionen (*UN Convention on the Law of the Sea*, UNCLOS), den internationella konventionen om säkerheten för människoliv till sjöss (*International Convention for the Safety of Life at Sea*, SOLAS), konventionen om biologisk mångfald (*Convention on Biological Diversity*, CBD), den internationella konventionen till förhindrande av förorening från fartyg (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*, MARPO 73/74), samt konventionen om miljökonsekvensbeskrivningar i ett gränsöverskridande sammanhang (den s.k. Espoo-konventionen, *Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context Convention*). Till dessa kommer nationell lagstiftning hos strandstaterna inom detta område, samt en rad mer eller mindre frivilliga riktlinjer inom ramen för t.ex. olika branschorganisationer. Som exempel kan nämnas FN:s riktlinjer för fartyg som trafikerar polarvatten, intresseorganisationen för

kryssningsoperatörer i Arktis riktlinjer, och forskningsstationers miljöskyddsprotokoll under Antarktiskfördraget. Detta är regelverk som Försvarsmakten kan behöva förhålla sig till vid eventuella insatser i Arktis. Miljön i Arktis är känslig samtidigt som skyddet generellt inte tycks vara särskilt starkt. Dock kan stort folkligt intresse med avseende på skyddskrav noteras, särskilt när det gäller symboliskt laddade djur som exempelvis isbjörnen.

En ökad närvaro sammantaget med en mer medveten opinion kan leda till krav på ett striktare internationellt regelverk, något som strandstaterna, främst USA, hittills inte velat se. Det hindrar inte att Sverige och Försvarsmakten utvecklar ett eget miljöregelverk för uppträdande i Arktis, då det inte ligger i svenskt intresse att uppträda i området på ett sätt som skapar miljöstörningar. Sverige har i forskningssamarbete med Nederländerna och Kanada undersökt möjligheterna att skapa en metod för miljöriskbedömning inför marina operationer i bl.a. arktisk miljö. Användning av sådan metod sker enbart efter nationellt beslut inte mot bakgrund av någon konvention.

Att ta fram en metod eller ett regelverk kräver en fördjupad analys av vilka aktiviteter som en operation eller operationer kommer att vara sammansatt av. I en marin operation kan både ett eller flera fartyg och luftburna enheter ingå. För varje identifierad aktivitet (patrullering, utryckning, överflygning, användning av vapen, tankning, avfallsproduktion mm.) listas vilka störningsmoment den består av, såsom buller, gifteffekter, eller tryckvåg. Därefter identifieras vilka delar av ekosystemet (alger, fiskar, sälar, fåglar etc.) som kan påverkas av dessa störningsmoment. Utifrån denna analys kan operationens samlade potential att skada miljön överblickas, dvs. vilka aktiviteter som stör mest och vilka delar av ekosystemet som påverkas. Resultatet visar då på vilka försiktighetsåtgärder som måste vidtas och ger en vägledning för hur en operation eller övning kan optimeras.

För att genomföra detta krävs att planering av övningar och operationer sker i tätt samarbete mellan militär och expertis på den miljö som är aktuell. För att uppnå målet med planeringen behövs utbildning av insatsernas personal i insatsområdets, dvs. i detta fall Arktis, biologi och miljöns känslighet för olika störningar. Avfall och reningsfrågor finns upptagna i flera av de riktlinjer som nämnts ovan samt i nationell lagstiftning men bör ses över ur ett svenskt perspektiv. Men även spill och oavsiktlig nedförsel av främmande arter och annat som kan få stora konsekvenser i den arktiska miljön behöver beaktas. Föroreningar kan inte reduceras till noll även om regelverk och tekniska lösningar kraftigt skulle kunna minska utsläpp och risken för olyckor. Detsamma gäller för t.ex. buller, höga hastigheter och vistelsetid i ett område.

Ett arbete med att utveckla ett svenskt miljöregelverk och en metod för miljöriskbedömning bör förslagsvis ta sin utgångspunkt i internationell och nationell lagstiftning, men också i andra staters syn på miljöhänsyn i Arktis vid militär verksamhet. De två stater, åtminstone i väst, med kanske störst erfarenhet av såväl mark som sjöinsatser i Arktis är Kanada och Danmark. En väg framåt är ett fördjupat samarbete med dessa länder beträffande miljöfrågor vid insatser i Arktis.

3.4 Sammanfattning och slutsatser

Uppvärmningen i Arktis har stora implikationer för i princip alla system i Arktis. En noggrann övervakning av klimatförändringar och analys av dess effekter är av mycket stor betydelse för utformning av hållbara och effektiva marina insatser. Temperatur och nederbörd kommer att öka och det är också sannolikt att stormfrekvensen kommer att följa den utvecklingen. Detta kommer att försvåra möjligheten till marina insatser.

De förändringar i havsisens utbredning, tjocklek och ålderssammansättning som observerats under det senaste decenniet (2001-2012) tyder på att Arktis havsklimat har förändrats i grunden. Trots minskningen och prognoser om helt isfria somrar kommer istäcken i Arktis dock alltid förekomma. Även korta isfria perioder under sommaren kan

medföra att flerårig is försvinner. Det är också troligt att den arktiska havsisen kommer bli mer rörlig, särskilt under vår, sommar och höst.

Isförhållanden kommer att medföra utmaningar även i framtiden och få betydande implikationer för framtida marina aktiviteter, samt för utveckling av fartyg som tar hänsyn till både säkerhet och miljöskydd. Det återstår fortfarande mycket forskning för att få en fullständig förståelse av nutida och framtida trender för den arktiska havsisen. En stor årlig variation i isutbredning kan också medföra en strategisk utmaning för planering och utveckling av marina insatser. Övervakningsprogram och förbättrade regionala observationer i realtid av isutbredning och isens tjocklek kommer att krävas för marina insatser.

Temperaturen i frusen mark (permafrost) ökar vilket påverkar byggnationer och infrastruktur såsom hamnar, vägar, flygplatser, kraftledningar, pipelines etc. vilket påverkar logistik och även indirekt marin kapacitet. Förändringar i temperatur och havsströmmar liksom tillhörande förändringar i nederbörd och vindar kan förändra mängden föroreningar som avsätts i Arktis. När havsisen smälter frigörs också föroreningar som lagrats i isen, ibland i flera decennier.

Av stor vikt för marina insatser är att en mycket stor del av Arktis är mörkt och väldigt kallt under halva året. En regelbunden anpassning till denna säsongscykel i polarmiljön för människor och djur har också implikationer för maritima aktiviteter.

Arktis miljö är känslig – med ett ömtåligt ekosystem, en natur som tar lång tid på sig att återhämta sig från påverkan och en accelererande klimatförändring – vilket gör all aktivitet i området, inklusive militär, till potentiellt miljöstörande. Idag är kunskapen om det samlade trycket på ekosystemet mycket låg och all verksamhet som bedrivs i Arktis bidrar till ett ökat tryck. För att säkerställa marinens förmåga och för att undvika ökad belastning på ekosystem bör utbildning och material designas både utifrån de krav som den arktiska miljön medför och med hänsyn till miljöskydd. Därför behövs riktlinjer noggrant utformas för att säkerställa en minimering av miljöpåverkan för insatser i Arktis.

I detta avsnitt har flera utmaningar och forskningsbehov för den svenska marinen med avseende på insatser i Arktis identifierats. Forskningsinsatser av olika karaktär är därför nödvändiga.

Av teknisk natur kan nämnas övervakningsprogram och förbättrade regionala observationer i realtid av isutbredning och isens tjocklek som behöver utvecklas för att säkra marina insatser. Hur sensorer påverkas av klimatförändringar är ytterligare ett angeläget område. För att genomföra dessa typer av studier krävs dessutom en förbättrad datainsamling av tillräckligt god och pålitlig karaktär för de specifika krav som ställs i dessa sammanhang.

Naturvetenskaplig forskning behövs för att förstå hur ekosystem svarar på de naturliga förändringar som nu pågår och hur det kan påverka marin förmåga och insatspersonals hälsa, samt vilka konsekvenser marina insatser skulle kunna komma att medföra, särskilt med avseende på föroreningsfrågor. Det finns också ett stort behov av samhällsvetenskaplig och tvärvetenskaplig forskning för att ge kunskapsunderlag för policy och riktlinjer med avseende på miljöfrågor vid marina insatser.

FOI innehar sammantaget en stor kompetens inom dessa forskningsområden. För att säkerställa den vetenskapliga kvaliteten är samarbete och utbyte med andra forskningsinstitutioner önskvärt. Universitet och högskolor i Sverige, nordiska och andra utländska arktiska forskningsorganisationer samt andra i sammanhanget relevanta myndigheter är exempel på potentiellt viktiga partners med vilka samarbeten bör inledas och/eller intensifieras för att kunskapsbehoven ska kunna mötas.

4 Det som döljer sig under ytan - undervattenssensorer i Arktis

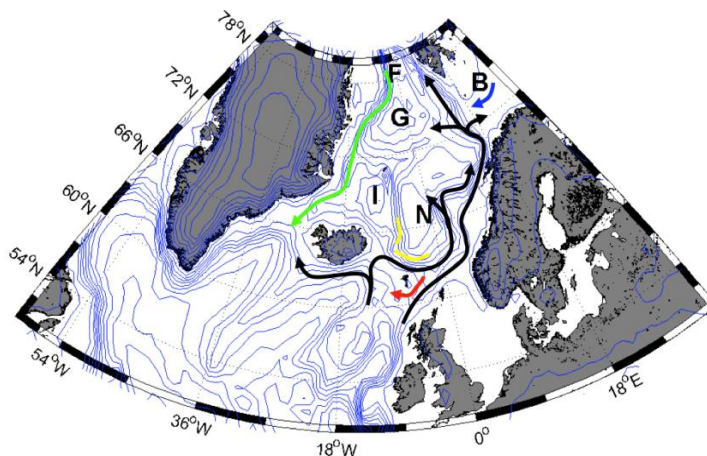
4.1 Undervattenssensorer och marinen

FOI bedömer att den svenska marinen i första hand kan tänkas bistå med ubåt och i andra hand med ytfartyg under en internationell insats i arktiska vatten. Marinen kan då behöva hantera väderförhållanden där vintertemperaturer ned till -35 C, istjocklek om någon meter, våghöjd upp till 5 m, och stor risk för nedisning vid öppet vatten kan förekomma.

Vid ett svenskt marint deltagande i områdesövervakning under en internationell insats i Arktis, kan marinen behöva ta hänsyn till såväl akustiska som elektromagnetiska undervattensspanningssystem och minsystem. Vi har ringa erfarenhet av vårt norra och nordvästra närområde beträffande de marina förhållanden och förutsättningar som bestämmer undervattenssensorers prestanda och vår egen marins förmåga att operera. I detta kapitel berörs i någon mån de förhållanden som rör akustiska och elektromagnetiska undervattenssensorer och deras förväntade funktion i Arktis jämfört med Östersjön. Beräkningar har gjorts av sensorprestanda baserat på miljödata hämtade från litteraturen. Resultaten är exempel på underlag som kan underlätta marinens taktiska uppträdande vid en eventuell insats. Miljön i Arktis kan också vara väl så korrosiv, vilket påverkar fartygens elektriska signatur.

4.2 Oceanografi

Det nordöstra vattenområdet av norra Atlanten begränsas i söder av en undervattensrygg som sträcker sig mellan Grönland och Skottland samt av Framsundet i norr. Vattenmassorna där emellan benämns Norra ishavet och de Nordiska haven. Området är unikt så till vida att ytvattnet i regionen är mycket varmare jämfört med andra hav vid samma latitud. Havsströmmarna i området uppvisar ett komplext mönster, som till stor del är ett resultat av bottenpografien, vind samt termodynamiska skillnader mellan havsmassorna, se Figur 3.



Figur 3: Kartbild över norra Ishavet, de Nordiska haven samt ytströmmarna. De svarta pilarna visar inflödet av ytströmmarna. Den gröna pilen visar Östgrönländska strömmens läge. Den blå pilen visar inflöde av kallt vatten från Berings sund. De gula strecken visar läget för Island-Färöfronten (horisontell linje) och Jan-Mayen fronten (vertikal linje). G, markerar Grönlandshavets läge; I, markerar Islandshavets läge; och N, markerar Norska havets läge. Tillsammans utgör de Nordiska haven. Mellan Grönland, Island, Färöarna och Skottland löper en relativt grund undervattensrygg med djupaste öppningen strax söder om Färöarna varigenom tungt bottenvatten, markerad med röd pil, strömmar ut i Atlanten. B markerar Barents hav och F Framsundet. Bild: FOI.

Bottentopografin domineras av tre djupområden, undervattensryggen som löper mellan Grönland och Skottland samt ett antal grundare sund. Djupområdena är lokaliserade mellan Norge och Grönland och benämns Grönlandshavet, Norska havet och Islandshavet (som tillsammans utgör de Nordiska haven). Sunden i området är Framsundet som förenar Nordiska haven med Ishavet, samt Barentsund som förenar vatten norr om Ryssland med Nordiska haven. Mellan Grönland och Skottland sträcker sig en relativt grund undervattensrygg som delar Norra Atlanten från Nordiska haven och Norra ishavet. Strax söder om Färöarna har ryggen sin djupaste öppning, den så kallade Färöbankkanalen. I den östra regionen, i området mellan Island och Färöarna samt mellan Färöarna och Shetland, flyter den norra Atlantströmmen norrut som en varm och salt havsström. Denna blandar sig i huvudsak med vatten i Nordiska haven för att avge värme, sjunka och bilda tungt bottenvatten som i sin tur strömmar ut som en bottenström i Färöbankkanalen. En mindre del av atlantvattnet strömmar vidare norrut utmed den norska kusten och vidare genom Framsundet in i Ishavet. Vattenströmmarna från Beringssund är kalla och har lågt salthalt som ett resultat av issmältning. På västra sidan (öster om Grönland) strömmar den Östgrönländska strömmen söderut. Denna utgörs av kallt ytvatten med relativt lågt salthalt. Vattenmassan har sitt huvudsakliga ursprung i Norra ishavet. Strömmen delar sig väster om Island, där en del strömmar ut i Atlanten och en del återcirkuleras norr om Island.

Förutom ytströmmar bildas strömmar såväl i vattenvolymen (intermediära vattenmassor) som vid botten (bottenströmmar). Effekten av dessa behandlas inte i denna rapport då utgångspunkten är att marina operationer i huvudsak kommer äga rum kustnära.

Strömmar av olika karaktär ger upphov till ett antal fenomen som påverkar ljudvåg-utbredningen och som inte uppkommer i Östersjön. Vanligt förekommande är fronter, virvlar och meandrar (slingrande strömmar), i vilka salthalt och temperatur kan förändras snabbt i både tid och rum.

Det bör understrykas att de dominerande vattenströmmarna uppvisar kraftiga variationer både i tid och i rum. Fronter, virvlar, slutna storskaliga cirkulationer och meandrar kan på några timmar förändra salthalten och temperaturen och därmed ljudutbredningen. På samma sätt kan vattenkaraktären i ett område uppvisa kraftiga rumsliga variationer, både horisontellt och vertikalt, vilka i sin tur påverkar ljudhastighetsprofilen. Det bör understrykas att publicerade data på salthalt och temperatur s.k. CTD-mätningar (*Conductivity, Temperature, Depth*) ofta är framtagna genom medelvärdesbildning av mätdata uppmätta under en lägre tidsperiod. De momentana värdena uppvisar ofta stora skillnader jämfört med beräknande medelvärden.

4.3 Isförhållanden

Isdriften i Arktis är känd. Den huvudsakliga rörelsen består av en högervarvsrotation med centrum i Beauforthavet (drivet av högtryck) samt den transpolära isdriften som för is från Arktis till Ishavet och Nordiska haven genom Framsundet, samt till området mellan Franz Josefs land och Svalbard. Att vinden spelar en stor roll för isexporten framkom med all tydlighet under 2007 då ett dipolliknande atmosfäriskt system av låg och högtryck bildades över Nordpolen (Nghiem et al., 2007). Högtrycket var förskjutet mot Kanada medan lågtrycket låg förskjutet mot Sibirien. Effekten blev att istransporten genom Framsundet ökade och den totala ismassan över polen minskade. Dylika fenomen som idag är ovanliga kan i framtiden få stora implikationer för sjöfarten. För nya möjligheter till fartygsbaserad isbergsdetektion, se vidare kapitel 5.

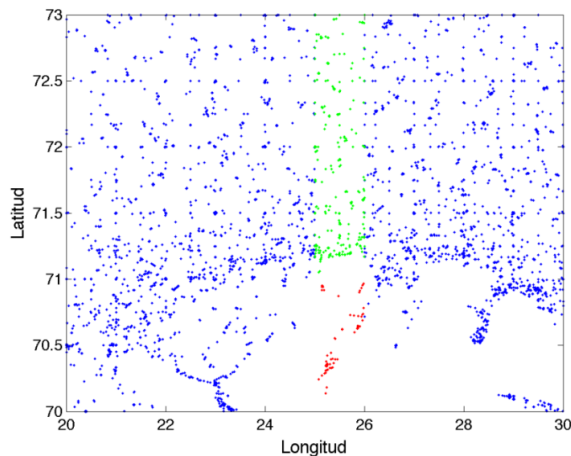
Den stora förändringen som förväntas ske i Arktis är att istäckets utbredning minskar på grund av den antropogent drivna uppvärmningen av atmosfären, dvs. orsakad av mänsklig aktivitet. Projektioner indikerar att medeltemperaturen ökar med 3 till 6 °C fram till 2080, under vilken den största ökningen sker under höst och vinter. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) scenario A1B (IPCC (2000)) användes i studierna, vilket motsvarar bland annat en ökad befolkning, snabbt ökande global ekonomi och balanserad utnyttjande av energikällor (Nakićenović och Swart (2007)). Utvecklingen i Arktis

sammanfattas i AMAP (2011). För en bredare bild av klimatförändringarna i Arktis, se kapitel 3.

Det bör dock understrykas att information om framtida sjöläget för fartyg saknas på grund av att modellstudierna i huvudsak har varit inriktade mot att studera isutbredningen och temperatur. Det kan spekuleras i att en större yta öppet vatten kommer att leda till ökad vindstyrka samt flera stormar. Flera av modellerna predikterar att transporten av fuktig luft in till ishavet kommer att öka, med följderna att dimbildning kan komma bli allt vanligare. Vind och stormar kommer även att påverka mängden fria ismassor. Trots en ökande tillgänglighet, genom att istäcket minskar, kan dessa faktorer försvåra för sjöfarten speciellt med tanke på säkerhet och sjöräddning.

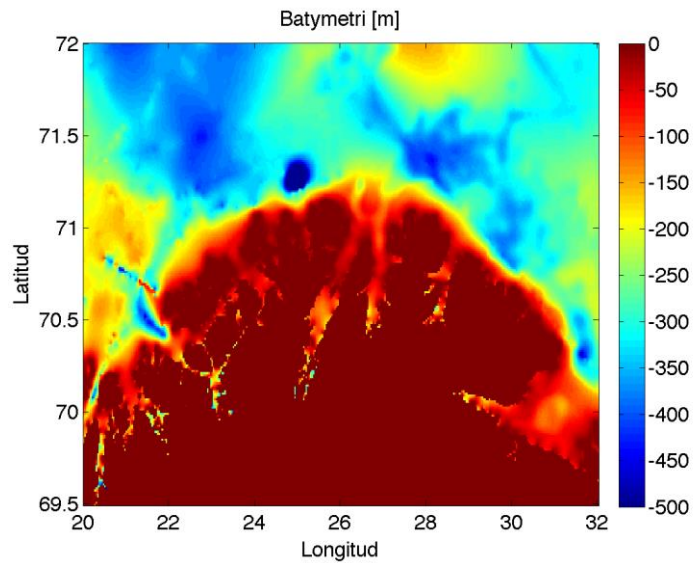
4.4 Ljudutbredningsförhållanden

För att exemplifiera ljudutbredningen i Arktis har ett område valts ut norr om Finnmarken. Analysen har inte genomförts på ett vetenskapligt rigoröst sätt, utan demonstrerar vad som är möjligt att genomföra i området genom att utnyttja öppna källor. Det bör understrykas att en liknande analys kan göras för hela Norra ishavet samt Nordiska haven. I denna rapport har ljudhastighetsprofiler beräknats baserade på historiska data från ICES:s databas¹², i vilken 3900 CTD-mätningar finns tillgängliga i området (se Figur 4). Typiska sommar- och vinterprofiler beräknades i ett delområde som ligger mellan Longitud E 25° - E 26°, Latitud N 71° - N 71.5° (antalet mätpunkter reducerades därmed till 320). Sommarmånader definierades som juni till oktober och vintermånader som november till april. Batymetrin (vattendjupet) i det studerade området är 150 till 500 meter (se Figur 5). För bottenpografien användes Smith och Sandwells batymetriska databas med en upplösning av 1 km. (Smith och Sandwell, 1994). Den först analysen av datasetet inriktades mot att undersöka skillnader i ljudhastigheten beroende på avstånd till kusten. Resultaten indikerade att området bör delas upp i tre delområden; begränsade av Latitud N 71° - 71.25°, N 71.25° - 71.5° och N 71.5° - 73°.



Figur 4: Havsområdet norr om Finnmarken. Vid de markerade punkterna har CTD-mätningar genomförts. De gröna mätpunkterna användes för analysen av ljudhastigheten. De röda punkterna klassificerades som mätningar utförda i fjord och uteslöts från analysen. Strandlinjen antyds av övergången från blå prickar till vita fält. Bild: FOI.

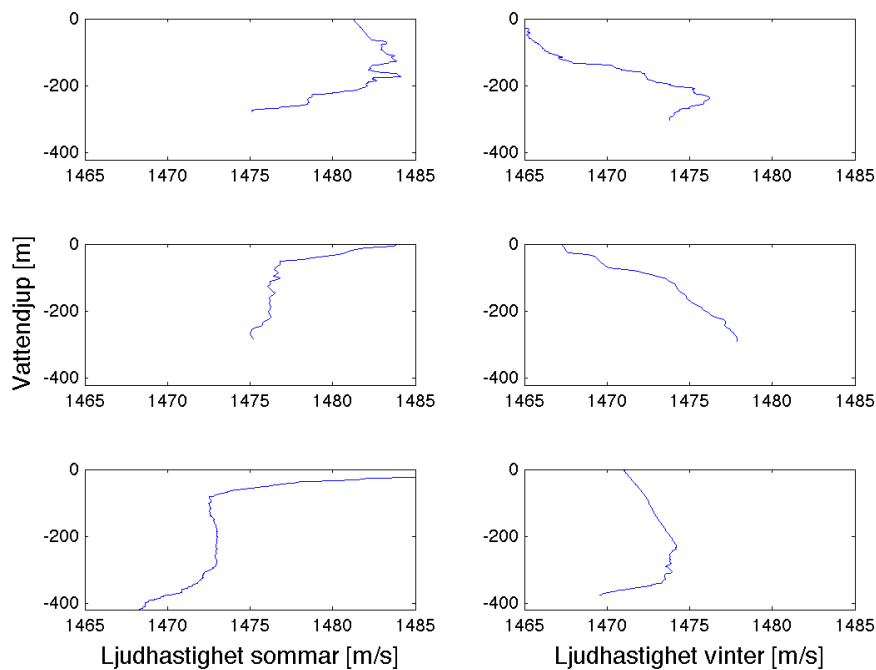
¹² ICES, The International Council for the Exploration of the Sea, www.ices.dk.



Figur 5: Batymetri (vattendjup) i området norr om Finnmarken. Bild: FOI.

I dessa tre områden bestämdes ljudhastighetsprofiler för sommar respektive vintermånaderna genom medelvärdesbildning. Resultatet visas i Figur 6.

Vid beräkningar av räckvidder för spaning med hydrofonsystem (sonarer) krävs kännedom om ljudhastighetsprofilen i spaningsområdet, som exemplifierats ovan, batymetri (vattendjup), och kunskap om de ytligare botten sedimentens akustiska egenskaper samt den allmänna bruskaraktistiken i området. Detta beskrivs i nästa avsnitt.



Figur 6: Ljudhastigheter beräknade för de tre delområdena. Vänstra kolumnen visar sommarprofiler och de högra vinterprofilerna, medelvärdesbildade över tre månader. I panelen högst upp visas ljudprofiler för Latitud N 71° – 71.25°, mitten för N 71.25° – 71.5° och undre för N 71.5° – 73°. Bild: FOI.

För beräkning av räckvidder med elektromagnetisk spaning behövs profiler över salthalter och konduktivitet eller ledningsförmåga i vattenvolymen och bottenkikten.

4.5 Akustiska sensorer – sonarer

Barents hav och farvattnen som ingår i scenariobeskrivningen i kapitel 2 har en salthalt liknande Atlantens, ca 34 - 35 ‰, vilket är ca fem gånger saltare än Östersjöns bräckta vatten. Enligt avsnitt 4.2 kan lokala variationer av salthalten uppstå i Arktis men i södra delen av Barents hav, som studeras i detta avsnitt, kan man ansätta värdet 34,5 ‰ (Stefanick (1987)). Denna skillnad gentemot Östersjön har viss betydelse för spaning med passivt lyssnande men framförallt med högfrekventa aktiva sonarer där ljudpulser sänds ut och reflekterade ekopulser analyseras. Salthalten bidrar till en frekvensberoende absorption av ljud, ju högre frekvens desto mer dämpas denna komponent i ljudet och ju saltare vatten desto högre blir dämpningen. Detta innebär att ljud med högre frekvenser når längre i Östersjön och som en följd därav kan större bandbredder utnyttjas jämfört med Barents hav. Som en tumregel fås samma räckvidd med halva frekvensen i Atlanten jämfört med Östersjön, även om detta är en grov förenkling. Den svenska marinens aktiva spaningssonarer arbetar därför på högre frekvenser än andra mariner som opererar i saltare hav. Detta har dock nackdelen att räckvidden i t.ex. Barents hav riskerar att halveras jämfört med i Östersjön.

Användning av akustisk undervattenskommunikation påverkas på liknande sätt. Jämfört med Östersjön får man räkna med en halvering av tillgänglig bandbredd och bärvågsfrekvens. Detta i sin tur leder till en halvering av tillgängliga datataktar.

Marinens passiva sonarer, t.ex. de lyssnande hydrofonantennerna ombord en ubåt, har av samma orsak i princip möjlighet att detektera ljud på större avstånd i bräckt än i saltare vatten. Passiva sonarer arbetar dock mer lågfrekvent vilket innebär att salthalten på verkar prestanda först då ljudet gått långa sträckor. Om vi räknar med att spana mot tysta mål som t.ex. en ubåt där upptäcktsavstånden i regel är små, torde våra passiva sonarer fungera lika bra i Barents hav som i Östersjön.

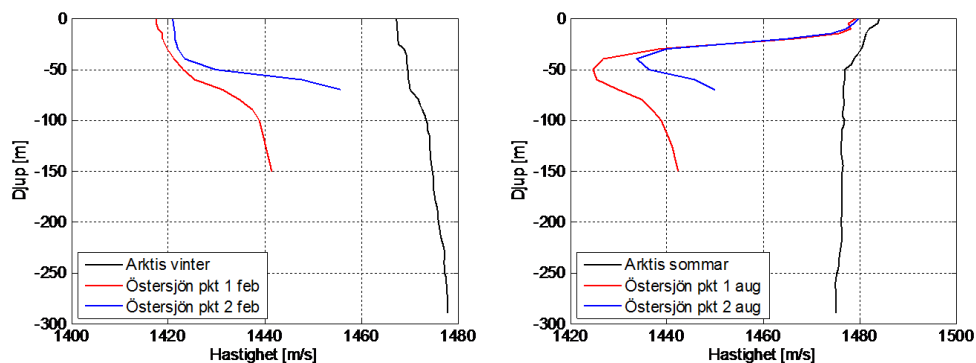
I allmänhet spelar även vattendjup, brus från vind och regn, buller från omgivande fartygstrafik och bottenarnas beskaffenhet en viktig roll för hur stora spaningsavstånden blir med akustiska sensorsystem i ett visst hav. I Östersjön påverkas sonarerna relativt lite av biologiskt ljud, vissa störningar förekommer, men i allmänhet är det inte något som begränsar sonarprestanda. I den arktiska regionen förekommer däggdjur som säl och val vilka skulle kunna störa sonarerna stundtals men detta har inte närmare kunnat undersökas i denna studie. Ett annat potentiellt problem som behöver studeras närmare är eventuell isförekomst och dess påverkan på sonarräckvidder. I allmänhet förväntas att istäcken ökar ljudets utbredningsförlust. Dessutom ökar brusnivåerna i ett område kring iskanten samt i områden med drivis. I det följande jämförs passiv sonarprestanda i Östersjön och södra Barents hav, utan att ta hänsyn till inverkan av eventuellt biologiskt ljud eller is.

4.5.1 Beräkningar för passiv spaning med sonar

Platsen i Barents hav och två referensplatser i Östersjön markeras i Figur 7, där den norra platsen i Östersjön har jämförbart vattendjup med platsen i Barents hav. Den södra ligger klart grundare och är kanske mer typisk för Östersjön i stort vars medeldjup inte är mer än sjuttio meter. I Figur 8 visas genomsnittliga ljudhastighetsprofiler för sommar och vinter för dessa tre platser.



Figur 7: Karta med den utvalda punkten i Barents hav markeras tillsammans med de två referenspunkterna i Östersjön där punkt 1 är den norra punkten, och punkt 2 den södra (i Hanöbukten). Bild: Google Earth.



Figur 8: Till vänster visas ljudhastighetsprofiler vintertid för Arktis respektive de två referenspunkterna i Östersjön. Till höger motsvarande profiler sommartid. Ljudhastighetsprofilerna för Arktis är lika med de mittersta profilerna i Figur 6. Bild: FOI.

Som påpekas i avsnitt 4.2 kan variationerna i ljudhastighet vara snabba i tid och rum, men som exempel på de större trenderna i profilerna (ökande eller minskande ljudhastighet med djupet) är de representativa. Vinterprofilen uppvisar ökande ljudhastighet med djupet. Detta innebär att ljud tenderar att böjas av upp mot ytan där det reflekteras nedåt för att sedan böja av upp mot ytan igen. Detta gäller framför allt ljud med högre frekvenser. Chans till goda spaningsräckvidder erhålls därför om spanare och mål befinner sig närmare ytan snarare än botten, åtminstone vid detektion av ljud med högre frekvens, se Figur 9 nedan. På sommaren minskar ljudhastigheten tvärtom med djupet vilket tenderar att böja av ljud mot botten. Är botten mjuk, vilket ibland är fallet, tränger en del av ljudet ned i botten där det dämpas ut och spaningsräckvidderna minskar. Sådana tendenser bör tas hänsyn till om vid operationer med en ubåt i området, eller om spaning sker mot en ubåt med eget fartyg med t.ex. en släpsonar vars djup kan väljas.

Förutom ljudhastighetsprofiler behövs de geoakustiska parametrarna för platsernas botten sediment, se Tabell 2, för att kunna modellera den akustiska ljudutbredningen.

Tabell 2: Sedimentegenskaper använda vid ljudutbredningsberäkningar för Arktis respektive de två referenspunkterna i Östersjön. Ljudhastighetsintervall innebär att hastigheten ökar linjärt med djupet.

Lager	Lagertyp	Dämpning	Densitet (kg/m ³)	Ljudhastighet (m/s)	Tjocklek (m)
1	Sand med lera	0,63	1500	1580-1600	18
2	Kalksten	0,05	2400	5300	
Östersjön punkt 1 (norra punkten)					
1	Sand med lera	0,6	1500	1580-1600	7
2	Morän	0,4	2100	1850-1900	13
3	Kalksten	0,2	2400	2700	
Östersjön punkt 2 (södra punkten)					
1	Lera	0,5	1300	1500-1550	2
2	Morän	0,4	2100	1850-1900	3
3	Kalksten	0,2	2400	2700	

Bottnarna för exemplen i Barents hav och den norra platsen i Östersjön (punkt 1) är relativt mjuka. I Tollefsen (1998) finns exempel på mätningar av bottenparametrar i Barents hav som kan användas här. En beskrivning av bottenens egenskaper i Östersjön återfinns i Voipio (1981). Den södra platsen i Östersjön (punkt 2) har en hårdare botten i och med att sedimenttjockleken är mindre. Här kan man förvänta sig lägre dämpning av ljudet och därmed större spaningsräckvidder.

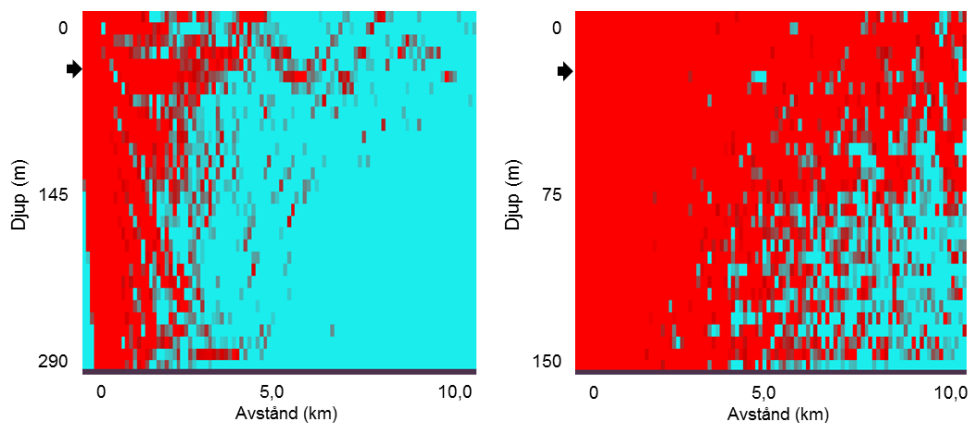
En ljudutbredningsmodell av typen PE (*Parabolic Equation*) som utvecklats vid FOI (Larsson och Abrahamsson (2003)) har använts vid beskrivning av lågfrekvent ljudutbredning. Här har toner vid 100 Hz och 500 Hz valts. Modellen kan behandla långsamt varierande batymetrier, men här används planskiktade geometrier som modell av bottnarna. Vid högre frekvenser används en annan approximation till vågekvationen, nämligen modellen Multimoc (Ivansson (2006), och Sturm et al. (2008)). Vi har använt den för detektering av energin i ett 500 Hz brett frekvensband kring 1500 Hz. De valda tonerna och det bredbandiga ljudet kan anses representera röjande signaturkomponenter från en ubåt.

Vi antar således att vi spanar passivt mot en ubåt. Vår lyssnande hydrofonarray antas ha en antennvinst på 13 dB för de lägre frekvenserna och 16,5 dB för frekvensbandet kring 1500 Hz. Detta skulle kunna utgöra värden för typisk hydrofonkedja som släpas efter ett fartyg (*Towed Array Sonar*, TAS). Utstrålad effekt hos målet vid de angivna frekvenserna sätts till 125 dB vid 100 Hz, 115 dB vid 500 Hz och 97 dB i bandet kring 1500 Hz. Brusnivåerna vid dessa frekvenser på de olika platserna visas i Tabell 3.

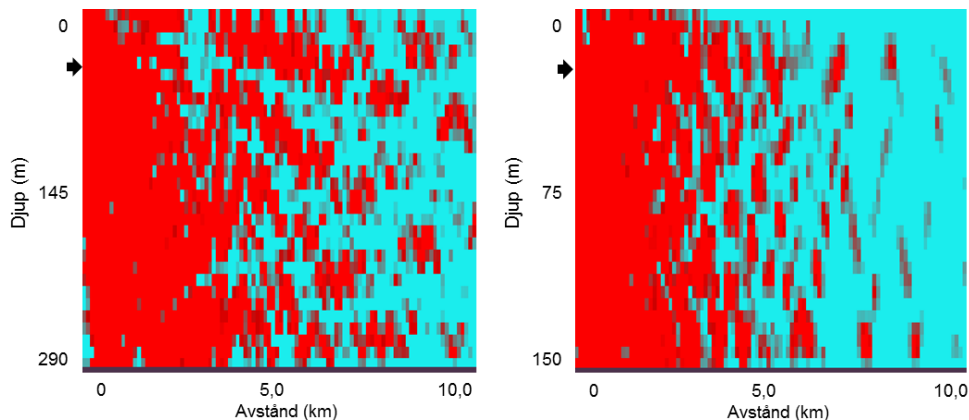
Tabell 3: Brusnivåer vid de olika platserna för ett antal utvalda frekvenser. Vid 100 Hz domineras bruset av fartygstrafiken. I Barents hav är trafiken måttlig, medan den är intensivare i fartygsstråken i Östersjön. Vid 500 Hz och 1500 Hz domineras brusnivån snarast av vindens inverkan och djupet i viss mån. I Barents hav blåser det avsevärt mer under stor del av året än i Östersjön (Stefanick (1987)).

	100 Hz	500 Hz	1500 Hz
Barents hav	75 dB	70 dB	63 dB
Östersjön punkt 1 (norra punkten)	80 dB	65 dB	55 dB
Östersjön punkt 2 (södra punkten)	75 dB	60 dB	55 dB

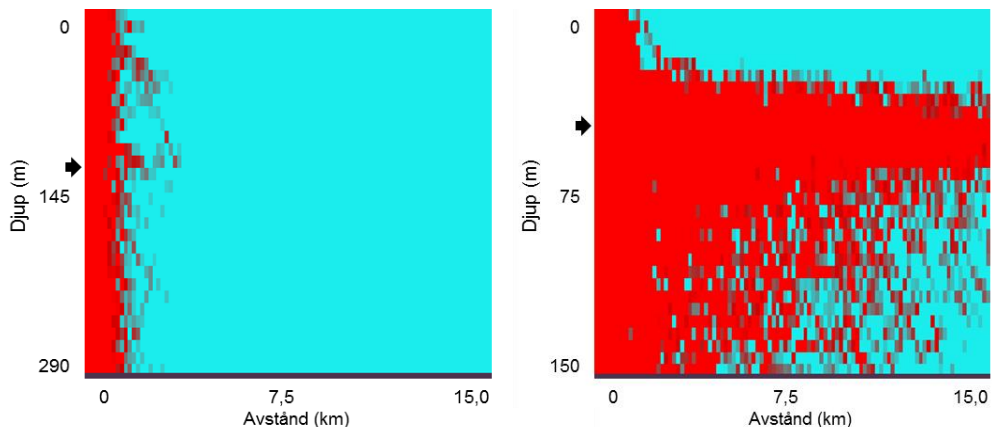
Med ljudutbredningsmodellerna erhålls ljudutbredningsförlusterna i dB mätt i hela vattenvolymen från en ljudkälla på ett givet djup. Med detta och data angivna ovan kan upptäcktssannolikheten för det antagna spaningssystemet ovan beräknas vid varje frekvens och plats. Ett exempel ges i Figur 10 där upptäcktsavstånden sommartid för en ton vid 100 Hz blir något större i Barents hav. Det kortare upptäcktsavståndet i Östersjöpunkten får i huvudsak tillskrivas högre bullernivåer från närbelägen fartygstrafik. I Figur 9 visas motsatta detektionsförhållanden för en ton vid 500 Hz vintertid. Vid denna frekvens är brusnivån högre i Barents hav pga. väder och vind. Figur 9 illustrerar även tendensen till ökad upptäcktssannolikhet nära ytan vilket är typiskt för vinterförhållanden med ljudavböjning upp mot ytan. På sommaren utvecklas alltid en ljudkanal (genom att ljudhastigheten antar ett tydligt minimum på ett visst djup) i Östersjön kring 50 – 60 m djup, se Figur 11. Om målet befinner sig i denna och spaningssonaren är placerad på samma djup ökar upptäcktsavstånden dramatiskt, se Figur 11.



Figur 9: Detektionsförhållanden vintertid för en ton vid 500 Hz. Detektionssannolikhet beräknad för Barents hav till vänster, Östersjön (punkt 1, norra punkten) till höger. Rött markerar hög sannolikhet för detektion, medan blått markerar låg detektionssannolikhet. Den svarta pilen markerar djupet för spaningssonaren. Bild: FOI.



Figur 10: Detektionsförhållanden sommartid för en ton vid 100 Hz. Detektionssannolikhet beräknad för Barents hav till vänster och Östersjön till höger. Rött markerar hög sannolikhet för detektion, medan blått markerar låg detektionssannolikhet. Den svarta pilen markerar djupet för spaningssonaren. Bild: FOI.



Figur 11: Detektionsförhållanden sommartid för ett 500 Hz brett frekvensband kring 1500 Hz. Detektionssannolikhet beräknad för Barents hav till vänster, Östersjön (punkt 1, norra punkten) till höger. Rött markerar hög sannolikhet för detektion, medan blått markerar låg detektionssannolikhet. Den svarta pilen markerar djupet för spaningssonaren. Bild: FOI.

Detta visar på vikten av att ha kunskap om sin operationsmiljö under ett uppdrag. Om ljudutbredningsförhållandena är som i Östersjön i 1 är det viktigt att anpassa taktiken genom att undvika framfart i ljudkanalen.

Resultaten från alla beräkningar indikerar att spaningsräckvidderna med passiva hydrofonsystem mot en ubåt i regel inte skiljer så mycket mellan Barents hav och Östersjön så länge vi håller oss ifrån sommarens ljudkanal i Östersjön, möjligen tenderar räckvidderna vid spaning mot ubåt bli lägre i Barents Hav vintertid. Detta innebär omvänt att röjningsavståndet skulle bli kortare i Barents hav vintertid jämfört med Östersjön.

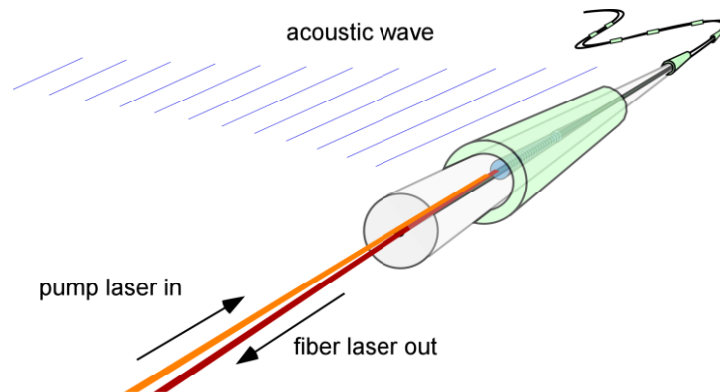
4.6 Fiberlaserhydrofon

I Arktis där avstånden kan vara stora till närmaste infrastruktur kan fiberoptiska sensorer bli av intresse eftersom de kan medge energisnål drift och via långa, relativt lätt utläggbara fiberoptiska kablar nå långt ut till havs från en landbaserad station.

FOI har utvecklat en helt optisk hydrofon, en s.k. laserfiberhydrofon. Den består av en fiberlaser monterad i ett aluminiumhus. Sensorn ligger skyddad i en slang av antingen silikongummi eller polyamid, beroende på önskvärda djupet, en schematisk bild ses i Figur 12.

Det silikonbaserade skyddet ger en begränsning till 10 m djup, medan den Polyamid-baserade med en speciell tryckkompensering visat full funktion ner till 70 m djup. För användning i vårt norra närområde där vattendjupen oftast är mer än 200 m krävs således en utveckling. Fiberlasern behöver ingen spänningsmatning eller batteri, utan bara en optisk fiber och en laser på en basstation några mil bort. Laserhydrofonden kan läggas på botten men, lämpar sig även bra som släpad sensor (s.k. TAS) efter antingen ubåt eller AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*), då TAS:en är liten och lätt. I det till ytan stora Arktis är AUV med stor räckvidd eller uthållighet väsentlig. Ett exempel på obemannade farkoster är s.k. gliders. De kan gå långa sträckor under lång tid utan att behöva dra mycket effekt. En sådan farkost skulle utgöra en intressant spaningsplattform om den kunde förses med lätt spaningsutrustning som t.ex. en fiberlaserarray.

Användningsområden för laserhydrofonden i Arktis kan således vara både som sensor på uthålliga AUV såsom ”gliders” eller som snabbt utläggbara spaningssensorer med långväga fiberoptiska sambandskablar till bas.



Figur 12: Schematisk bild på laserhydrofonen. Bild: FOI.

4.6.1 Generell optisk omvandlare

I Arktis eller mer allmänt med långa avstånd mellan mätplats och basstation finns problemet med spänningsmatning av förstärkare så signaler kan skickas långa sträckor. En optisk generell omvandlare tar elektriska signaler från passiva sensorer som elfältsantenn, induktionsspole eller en piezoelektrisk hydrofon och påverkar den optiska fibern så att mätsignalen kan överföras optiskt. Fördelen blir att inget batteri eller spänningsmatning krävs vid sensorn. Den enda kraftkällan som behövs är en laser som kan sitta någon mil bort. Dynamiken blir hög och signalöverföringen blir okänslig för elektromagnetiska fält.

4.7 Elektromagnetiska sensorer och system

Den elektromagnetiska undervattensmiljön diskuteras i detta avsnitt med tanke på dess påverkan på magnetiska och elektriska signaturer, elektromagnetisk vågutbredning, elektromagnetiska bakgrundsstörningar samt slutligen något om militära och civila elektromagnetiska sensorer och system.

Marinen behöver kunna utföra såväl kontrollmätning av fartygens signaturer som taktisk mätning av signaturer inför olika typer av operationer. Detta kan göras med en rörlig mätresurs eller genom avtal med annan nation med resurs i området. Marinens rörliga system MOUSE är dock inte klassat för att opereras i denna miljö.

4.7.1.1 Statisk magnetisk signatur

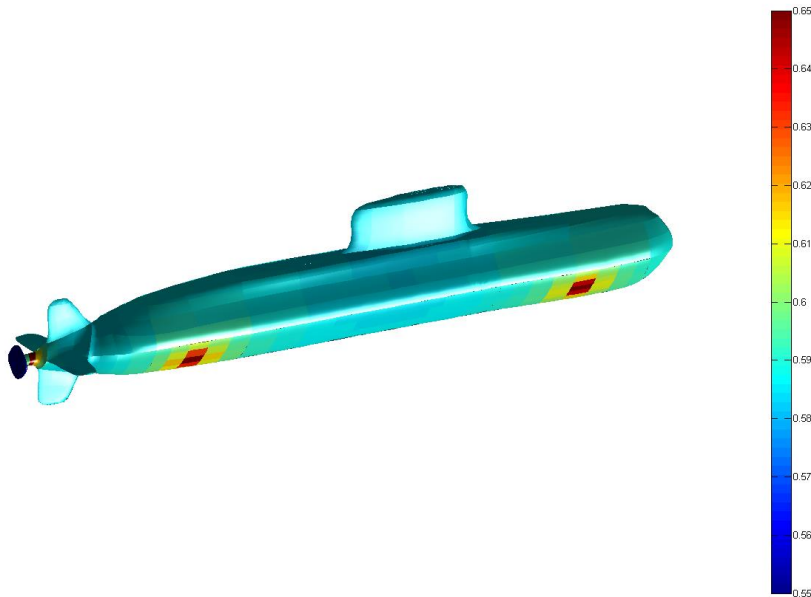
Den statiska magnetiska signaturen består av en permanent del och en del som induceras på grund av det jordmagnetiska fältet. Fartyg har magnetminskydd som kompenserar för dessa bidrag till signaturen genom utstyrning av strömmar i slingor baserat på värdet på det jordmagnetiska fältet på platsen. Detta fälts inklinations ökar ju närmare vi kommer den magnetiska nordpolen. Detta medför att ett fartygs magnetfältssond kan komma att behöva kalibreras (devieras) om efter transit till Arktis.

Den permanenta delen av den statiska magnetiska signaturen kan komma att ändras under transit genom områden med t.ex. mycket hög sjö. Effekten kan kompenseras i avancerade självjusterande magnetminskydd (*Closed-Loop De-Gaussing*, CLDG). FOI kommer att utföra fördjupade studier om denna teknik under 2013 till 2015.

4.7.1.2 Statisk elektrisk signatur

Den statiska elektriska signaturen uppkommer genom att kretsen för galvaniska strömmar sluts via återledning genom havsvattnet (elektrolyten). Källstyrkan beror därför av vattnets egenskaper såsom temperatur, salinitet och pH samt mängden löst syre. Källstyrkan beror

också av resistansen i kretsen, vilken i sin tur beror av vattendjup samt vattnets och bottenens ledningsförmågor m.m. Polarvatten kan vara mycket syrerikt, vilket ökar källstyrkan. FOI har under ett antal år utvecklat mättekniker och programvaror för att prediktera ändringen i källstyrkan (se till exempel Claésson et al. (2012), Claésson och Krylstedt (2011), samt Claésson et al. (2010)). Med användning av data från Falkner (2005), har vi predikerat ändringen i den elektriska signaturen som funktion av dykdjup i Barents hav.



Figur 13: Den statiska elektriska potentialen relativt standard väteelektrod (angedd i [V]) för en ubåt på 150 m djup. Beräkningar gjorda av FOI. Elektrokemiska data för Arktis har tagits från Falkner (2005).

Data från Falkner (2005) har använts för att bestämma relevanta polarisationskurvor för de ingående konstruktionsmaterialen. Denna information har sedan använts i beräkningar av potentialen på ubåtens yta samt resulterande strömmar och dipolmoment, se Figur 13. Med antagande att mängden löst syre och vattnets ledningsförmåga ändras från 400 till 275 $\mu\text{mol/kg}$ och från 2.4 till 2.8 S/m vid dykning från 50 m till 150 m, så minskar den totala strömmen från 6.7 till 6.1 A samtidigt som ubåtens källstyrka i form av dess horisontella dipolmoment ökar från ca 35 till ca 41 Am. Detta beteende vid dykning är det omvända jämfört med Östersjön, vilket beror på att samspelet mellan syrehalt och ledningsförmåga är annorlunda i Östersjön.

Den statiska elektriska signaturen beror också på val och design av korrosionsskydd, vilka kan vara passiva (med offeranoder) eller aktiva (ICCP-system, *Impressed Current Cathodic Protection*). Skydden är ytterst viktiga eftersom fartygen skall operera i potentiellt mycket korrosiva miljöer, men de måste även utformas med tanke på att minimera signaturen.

4.7.1.3 Alternerande elektromagnetisk signatur

Den mest prominenta av de alternerande (icke-statiska) signaturerna brukar vara den axelvarvtalsrelaterade ELFE¹³ signaturen, men även andra källor till läckfält förekommer. Speciellt kan nämnas elektromagnetiska fält från motorer, generatorer, omformare, m.m. vilka kan generera typiska frekvenser. ELFE signaturen bör reduceras med aktiv jordning av propelleraxeln (*Active Shaft Grounding, ASG*).

¹³ *Extremely Low Frequency Electric*

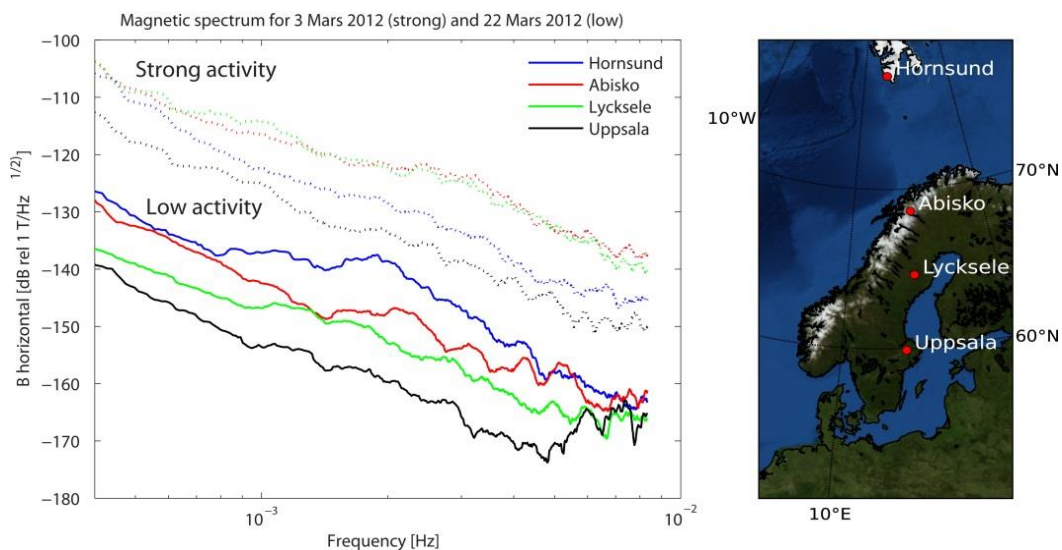
Det är relativt grunt i Barents hav (storleksordning 200 m), vilket tillsammans med de alternerande elektromagnetiska signaturernas karaktär gör att smalbandsdetektion bör fungera bra. Sensorer som är optimerade för detektion av 50 Hz eller 60 Hz finns framtagna för detta ändamål¹⁴.

4.7.2 Elektromagnetisk undervattensvågutbredning

Den statistiska elektriska signaturens och de alternerande elektromagnetiska signaturernas utbredning beror som bekant av kontrasterna i ledningsförmåga mellan havsvattnet, olika sedimentlager och berggrunden. Vid uppgrundningar leder detta till en förstärkning av strömtätheten och lokala maxima uppstår i potential- och elektriskt fält. Vidare så utbreder sig de elektromagnetiska fälten företrädesvis i gränsskikten mellan luft och vatten samt vatten och sediment. Dämpningen av dessa laterala vågor bestäms då i viss mening av det medium som har den lägsta transmissionsförlusten. Spanings- och vapensystem kan givetvis placeras ut på så sätt att dessa effekter används på ett för dem gynnsamt sätt. Detta måste beaktas vid planering av operationer i alla miljöer och i Arktis i synnerhet.

4.7.3 Elektromagnetiskt bakgrundsbrus

Det elektromagnetiska bakgrundsbruset i Arktis domineras av naturligt förekommande fluktuationer, se Figur 14. Dessa bidrag genereras av solvindens växelverkan med magnetosfären och jonosfären vilket ger upphov till kraftiga strömmar i jonosfären (till exempel den polära elektrojeten) och andra elektromagnetiska fenomen såsom norrsken (se Rosenqvist och Rabe (2011a) samt Rosenqvist och Rabe (2011b)).



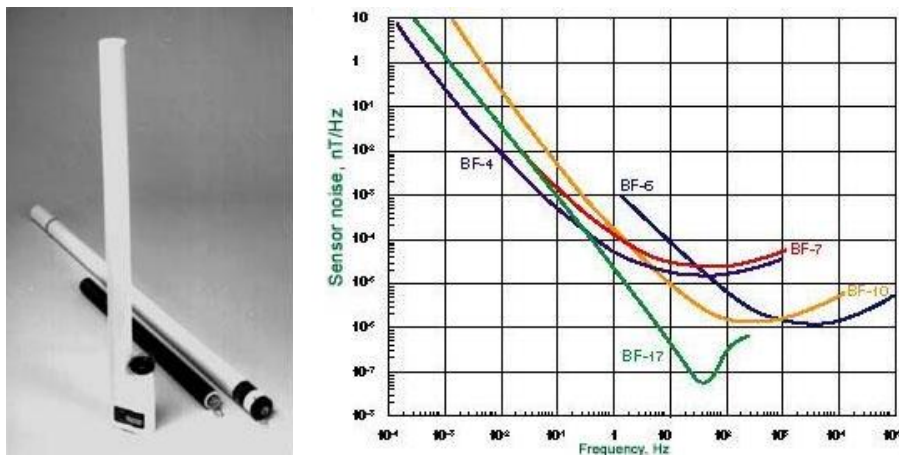
Figur 14: Spektrum för den horisontella komponenten av det jordmagnetiska fältet på fyra platser för en dag i mars 2012 med hög magnetisk aktivitet (streckade linjer) respektive låg magnetisk aktivitet (heldragna linjer). Data från internationella magnetiska observatorier (IMO) har använts.

Under perioden med låg aktivitet ser vi en spridning på ca 20 dB mellan Uppsala och Svalbard samt ökande värden för högre latituder. Under perioden med hög aktivitet är inte bilden lika enkel. Aktiviteten i Svalbard sammanfaller nästan med den i Uppsala och de mellanliggande stationerna (Lycksele och Abisko) uppvisar de högsta magnetiska aktiviteterna. Detta beror troligtvis på norrskensovalens utbredning.

¹⁴ Se t.ex. Magnetometrar, Schlumberger EMI Technology Center.

4.7.4 Elektromagnetiska undervattenssensorer

Elektromagnetiska undervattenssensorer har använts som komplement till akustiska sensorer för att detektera intrång och styra minsystem. Den vanligaste sensorn historiskt sett har varit stora induktionsslingor (jämför Kustartilleriets så kallade magnetslingor) men även punktsensorer och elektriska antenner har använts i Arktis. Såväl inloppen mot Kanada som Barents hav och Karahavet är relativt grunda och passar bra för användning av dylika sensorer.



Figur 15: Till vänster ser vi ett foto på magnetometrar från Schlumberger EMI Technology Center (fd EMI Incorporated) och till höger bruspektrum för BF-serien inklusive BF-17. Bilderna är tagna från http://www.slb.com/about/rd/technology/emi/bf_sensor.aspx (kontrollerad 2013-02-13).

Serien BF-4 till BF-10 från EMI Incorporated, se Figur 15, används typiskt för mätning i borrhål och för magnetotellurisk sondering. BF-17 utvecklades åt den amerikanska marinen för detektion av nätfrekvenser på havsbotten. Vi ser att den är avstämmd för att detektera frekvenser runt 50 Hz. Sensorn är ca 2 m lång och väger ca 200 kg.

Elektriska sensorer har historiskt använts av såväl Nato som Warsawapkten. I Arktis har alltså Kanada, Ryssland och USA vana att hantera sådana sensorer men även Danmark och Norge kan tänkas utnyttja dem.

4.7.5 Elektromagnetiska undervattenssystem

4.7.5.1 Elektromagnetiska undervattensspaningssystem

Elektromagnetiska undervattenssystem används, som tidigare nämnts, som komplement till akustiska sensorer för detektion av intrång samt i system för skydd av fartyg, baser och hamnar. Systemen i Arktis består normalt av stora induktionsslingor kompletterade med magnetiska och elektriska punktsensorer samt passiva och aktiva kabelantennor.

4.7.5.2 Elektromagnetiska minrigssystem

Såväl minsystem som minröjningssystem utnyttjar elektromagnetisk teknik. Minor har ofta en magnetometer eller ett induktionsorgan som sensor för att bestämma tidpunkt för detonation och därför utvecklades tidigt minsvep med magnetisk funktion. Ryssland har bottenavståndsmiyor, förankrade avståndsmiyor och olika rörliga minor vilka alla har elektromagnetisk funktion och går att använda på kontinentalsockeln. Bland de rörliga minorna (rörlig vapendel) återfinns styrbara raketminor och torpedminor med akustiska målsökare och elektromagnetiska zoner för detonation vid passage under fartyg.

4.8 Sammanfattning och slutsatser

Den arktiska oceanografin erbjuder några fenomen som inte förekommer i Östersjön, såsom fronter, virvlar, slutna storskaliga cirkulationer och meandrar. Dessa fenomen skulle kunna ha konsekvenser för sonarprestanda, men i vilken utsträckning behöver utredas vidare. Detsamma gäller för förekomsten av biologiskt liv, t.ex. säl eller val, som eventuellt skulle kunna störa sonarer.

Det är samspelet mellan ljudhastighetsprofil, bottenpografi och botten sedimentens materialparametrar, förekomst av istäcke, buller från fartygstrafik samt vind- och våg-genererat brus som i huvudsak bestämmer ett givet sonarsystems prestanda. Dessutom inverkar salthalten på sonarens räckvidd. Generellt är salthaltarna högre i Barents hav än i Östersjön, vilket betyder att svenska marinens aktiva sonarsystem, som till hög grad är speciellt anpassade för Östersjöförhållanden, kan förväntas ha kortare räckvidder i Barents hav än i Östersjön. Lägre datatakt kan även förväntas för akustisk undervattenskommunikation. Eftersom passiva sonarer arbetar mer lågfrekvent påverkar inte salthaltarna räckvidderna lika mycket. Våra beräkningar på passiv sonarprestanda mot ubåt tyder på att spaningsräckvidderna är relativt likartade mellan Barents hav och Östersjön så länge framfart i Östersjöns ljudkanaler undviks, möjligen är de kortare i Barents hav vintertid, främst beroende på de rådande ljudutbredningsförhållandena samt högre brusnivåer från väder och vind.

En möjlighet beträffande användning av utläggbara sensorer i Arktis är s.k. fiberlaser-hydrofonsystem. Eftersom dessa sensorer är energisnåla och kan anslutas via lätt utläggbara mycket långa fiberoptiska kablar medges användning av sådana spanings- och övervakningsresurser utan tillgång till närliggande infrastruktur.

Marinens minskydd kommer att fungera i Arktis men minskyddssonderna kan behöva kalibreras om efter transit från Östersjön till Arktis pga. ändringen i den magnetiska inklinationen. Även den statiska elektriska signaturen ändras under transit från Östersjön till Arktis, pga. ändringar i de elektrokemiska egenskaperna hos vattnet, där de viktigaste är ledningsförmåga, temperatur, salthalt, syrehalt och pH. Generellt kommer källstyrkan att öka, men samtidigt kommer utbredningsförlusterna att öka, vilket gör att det är svårt att ge enkla tumregler för den totala påverkan på räckvidd eller röjningsavstånd. Verktygen för noggranna beräkningar finns, men sådana beräkningar har legat utanför omfattningen av den här studien.

Ytterligare ett exempel på miljöns inverkan på sensorsystemen är att den statiska elektriska signaturen kommer att ändras som funktion av djupet. De elektrokemiska processerna styrs nämligen av olika parametrar, vilkas effekter på den totala källstyrkan ömsom förstärker och ömsom motverkar varandra men det övergripande resultatet blir ett beroende av dykdjup. Detta bör studeras för att utröna möjliga stridstekniska och taktiska val vid operationer i Arktis. Även det elektromagnetiska lågfrekventa bakgrundsbruset bör studeras noggrannare än vad som gjorts i detta arbete.

5 Sensorer för upptäckt av isberg

5.1 Isförhållanden och isbergshotet

Erfarenhet av operationer i vatten där isbildning är förekommande finns från svenska förhållanden och då i synnerhet Östersjön. Möjligheten för olika fartyg att uppträda blir beroende av isens beskaffenhet och mot den isklass fartygen har utformats och konstruerats. Rådande isförhållanden ger också andra signaturer hos använda sensorer jämfört med öppet hav och dess olika sjötillstånd. För att kunna operera på ett optimalt och säkert sätt är det därför av vikt att på den operativa nivån ombord kunna tolka issignaturer. Tidigare bemannades de svenska isbrytarna av marinens personal varför mer omfattande erfarenheter kring olika issituationer kom organisationen till godo per automatik.

Vid operationer i arktiska vatten tillkommer att det frusna istäcket är sammansatt av ettårsis, bildat under innevarande säsong, och flerårsis som överlevt en eller flera smältperioder. Jämfört med de svåraste svenska isförhållandena i Bottenviken och norra Bottenhavet är situationen innanför iskanten i Arktis än besvärligare i termer av istjocklek och möjlighet att ta sig fram, även för fartyg som har isbrytande kapacitet. Olika processer under smältsäsongen leder till att flerårsisen har en lägre salthalt och en lägre densitet än nybildad is. Den är styvare och därmed mer svårforcerad inom det sammanhängande istäcket. Utanför iskanten kan drivande bitar av flerårsis utgöra en stor fara då de kan vara små och därmed svårupptäckta och samtidigt vara tillräckligt hårda för att förorsaka allvarliga skador på fartyg vid kontakt med skrovet även i normala gånghastigheter.

Det troligaste scenariot vid marina operationer i Arktis med övervattensfartyg är operationer i områden som sträcker sig fram till den mer svårforcerade iskanten. Vid sidan av drivande mindre isobjekt, speciellt från den hårdare flerårsisen, tillkommer också hotet från isberg av olika storleksklasser. Det är även här framförallt de mindre isbergen som kan vara svåra att upptäcka med dagens sensorsystem.

Den avvikande signaturen hos mindre isobjekt finns dels lokaliserad inom en liten yta, vilket kräver en hög upplösning hos använda sensorer, dels konkurrerar signaturen med en bakgrunds nivå som kan variera kraftigt beroende på aktuellt sjötillstånd. Vid högre vågor kan objekten tidvis även skymmas när de befinner sig i en vågdal.

Hotet från olika drivande isstrukturer i ett öppet hav är påtagligt för den civila aktivitet i Arktis som förutses öka när iskanten drar sig norrut. De nya sjöfartslederna mellan kontinenterna som därmed öppnar sig ligger inom samma områden som eventuella marina operationer i huvudsak förväntas utspela sig i. Det finns därför såväl en militär som civil efterfrågan på förbättrade sensorprestanda för att upptäcka mindre isobjekt. Problemställningen är snarlik situationer i andra typer av vatten. Det kan gälla att upptäcka flytande containrar, små och ofta snabba båtar som används vid smuggling eller piratverksamhet, människor som fallit överbord eller, vid mer militärt specifika situationer, ubåtsperiskop ovan vattenytan. Det finns därför många civila och militära förmågebehov som driver på utvecklingen av ökade sensorprestanda för upptäckt av små sjömål.

För sensorer som är beroende av dagsljus är detta en bristvara under delar av året vid operationer i Arktis.

5.2 Isklassificering, isövervakning och prognostjänster

För att karaktärisera skilda typer av is till havs finns en mängd olika uttryck som i Sverige främst används av SMHI i dess isprognostjänst för svenska farvatten. Begreppen har förändrats över åren och anpassats till den internationella isnomenkulturen för all slags

havsis som WMO (*World Meteorological Organization*) utarbetat och antagit. Den svenska vokabulären för på våra breddgrader aktuella istyper är¹⁵:

- Nyis
- Fast is
- Issörja
- Tallriksis
- Pannkaksis
- Stampisvall
- Ispress och packisvall
- Hopskjuten is
- Drivis
- Isbumling
- Rutten is

Istyperna ovan inkluderar inga former bestående av flerårsis (*multi-year ice*) då detta inte förekommer kring svenska kuster. WMO:s referensdokument kring isnomenklatur innehåller dock även dessa istyper liksom olika former med sitt ursprung i isberg (WMO sea-ice nomenclature (1970)).

Isberg brukar klassificeras i ett antal typer beroende på storlek. De engelska benämningarna för dessa finns sammanfattade i Tabell 4.

Tabell 4: Definitioner av olika typer av isberg med dess engelska beteckningar¹⁶.

Storleksklass	Höjd	Längd
Growler	Mindre än 1 meter	Mindre än 5 meter
Bergy Bit	1 - 5 meter	5 - 15 meter
Small	5 - 15 meter	15 - 60 meter
Medium	15 - 45 meter	60 - 120 meter
Large	45 - 75 meter	120 - 200 meter
Very Large	Över 75 meter	Över 200 meter

Isberg har sitt ursprung i glaciäris som kalvat. I Arktis genereras isberg företrädesvis väster om Grönland för att sedan driva söderut (se även avsnitten 4.2 och 4.3 samt Figur 3) där i synnerhet de mindre storlekarna (*growler* och *bergy bit*) utgör den största faran som hinder då de är svårast att upptäcka med dagens sensorprestanda. I vattnen österut ut från Grönland räknat består drivande isobjekt sommartid i huvudsak av flerårsis som med sin hårda karaktär och mindre storlek utgör ett lika påtagligt hot att skada fartyg om de inte upptäcks i tid. Det som noterats under senare år i Arktis är att andelen flerårsis i det sammanhängande istäcket minskat signifikant (se avsnitt 3.1.3).

¹⁵ Begrepp från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/is-till-havs-1.4105> (kontrollerad 2013-02-13) där utförligare beskrivningar av varje istyp ges på svenska.

¹⁶ Tabellinformationen är tagen från http://nsidc.org/noaa/iicwg/docs/IICWG_2012/Ice_Objects_Catalogue_V5-0_Approved_05_March_2010.pdf (kontrollerad 2013-02-13) där även andra istyper definierade i (WMO sea-ice nomenclature (1970)) ingår.

I detta avsnitt används för enkelhetens skull begreppen *growlers* och *berg bits* på ett icke helt stringent sätt då även flerårsis av motsvarande storlek inlemmas här trots att denna istyp inte har sitt ursprung i glaciäris.

Isövervakning och prognostjänster finns i samtliga randstater till Arktis. Alla dessa länder förutom Island har under året att hantera sammanhängande utbredda frusna istäcken liksom drivande is av olika typer. För Islands del är endast den sistnämnda situationen aktuell då det varmare klimatet runt ön förhindrar att iskanten når så långt söderut. De statliga myndigheter som ansvarar för frågorna i respektive länder är:

- Danmark: Danmarks Meteorologiske Institut (<http://www.dmi.dk>).
- Island: Veðurstofa Íslands (<http://www.vedur.is>)
- Kanada: Canadian Ice Service (<http://www.ice-glaces.ec.gc.ca>)
- Norge: Meteorologisk institutt (<http://www.met.no>)
- Ryssland: Arctic and Antarctic Research Institute (http://www.aari.nw.ru/index_en.html)
- USA: U.S. National Ice Center (<http://www.natice.noaa.gov>)
U.S. Coast Guard International Ice Patrol (<http://www.navcen.uscg.gov/iip>)

Kanada och USA har också ett bilateralt samarbete där underlag från de tre nationella organisationerna utnyttjas för att sammanställa isläget för hela den nordamerikanska kontinenten. Arbetet bedrivs inom North American Ice Service¹⁷ och ett exempel på tjänster som produceras är bulletiner med kartor som distribueras och görs tillgängliga genom World-Wide Navigational Warning Service¹⁸.

På SMHI finns en kommersiell operativ tjänst som kallas *Onboard Routing* där ett fartyg kan få stöd kring väderprognoser och ruttplanering på alla världshaven. Man tar även in aktuella parametrar för det enskilda fartyget som hastighet, bränsleförbrukning och förväntad ankomsttid för att försöka optimera planeringen. Programvaran kan fungera helt autonomt där fartyget per e-post begär en uppdatering baserat på sin aktuella position och efter ett antal timmar kommer en ny prognos. Vanligtvis finns en mänsklig komponent dock inlagd där eventuella förtydligande och möjliga alternativa tolkningar gjorts. Vid ett fåtal tillfällen senaste åren har detta system även provats i Arktis. Samtliga gånger hittills har dock fartygen merparten av tiden letts av en rysk isbrytare som bestämt takten och vägval, trots enkla isförhållanden, varför det varit svårt att utvärdera nyttan med systemet fullt ut.

SMHI ingår också som den svenska partnern i ett antal nätverk, arbetsgrupper och pilotprojekt kring isproblematiken på såväl global som regional nivå. Bland de viktigaste är följande fyra:

- European Ice Service: Initierat 2007 av Danmarks Meteorologiske Institut, norska Meteorologisk institutt och Meteorologiska institutet i Finland (www.fmi.fi). SMHI blev under 2008 den fjärde medlemmen. Organisationen skapades med North American Ice Service som förebild för att på motsvarande sätt ge stöd kring isfrågor och islägen i såväl europeiska Arktis som Östersjön.
- Polar View (www.polarview.org): Har under tio års tid byggts upp med medel från ESA (*European Space Agency*) och EU-kommissionen under programmet GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) och med deltagande även från CSA (*Canadian Space Agency*). Inom ramen för Polar View hanteras isfrågor för alla områden på jorden. Förädlade satellitbilder utgör det huvudsakliga underlaget för olika frågeställningar och tjänster. Deltagare i Polar View har även varit företag och andra organisationer vid sidan av nationella istjänster. I slutet av 2011 bildades ett bolag Polar View Earth Observation Ltd som skall föra arbetet vidare men nu utan stöd från ESA och EU-kommissionen. I skrivande stund är det inte klart från regeringshåll om SMHI kan vara kvar som

¹⁷ <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=NAIceService> (kontrollerad 2013-02-13)

¹⁸ <http://www.telecomabc.com/w/wnws.html> (kontrollerad 2013-02-13)

part i den upprättade bolagsformen, en osäkerhet som för övrigt föreligger för flera andra europeiska myndigheter.

- International Ice Charting Working Group (<http://nsidc.org/noaa/iicwg>): En arbetsgrupp kring informationsutbyte och kunskapsöverföring inom isfrågor för Arktis, Antarktis och övriga områden på jorden där ett behov föreligger.
- ICEMAR (www.icemar.eu): Ett pågående treårigt (2011-2013) pilotprojekt inom EU-kommissionens program GMES *Pilot Services in the Atmosphere and the Maritime Areas*. Syftet är att ta fram hjälpmedel ombord på fartygen så att man på ett dynamiskt sätt under färden skall få direkt tillgång till relevant och uppdaterad isinformation från databaser hos europeiska myndigheter med ansvar för istjänsten inom aktuellt geografiskt område.

De existerande istjänsterna kan ge underlag för att få en översikt kring issituationen på en större skala. Merparten av den idag pågående verksamheten i arktiska vatten är antingen stationär, och därmed geografiskt lokaliserad av typen off-shore aktiviteter, eller på förhand väl definierad i form av att med fartyg gå en rutt från punkt A till punkt B. Marina scenarier är istället mer obestämda, dynamiska och med korta ledtider. Man har som regel ett begränsat sjöterritorium att övervaka och operera inom, troligen utanför iskanten, och man utgår från en eller några hamnar längs anslutande kustlinje. Merparten av uppdragen består av olika former av patrullering där tänkta rutter och geografiska områden kan ändras under vistelsen till sjöss. Situationen påminner mer om hur en fiskeflotta opererar med sin bas vid ett kustområde någonstans i världen.

Någon form av egen kompletterande istjänst inom det övergripande ledningssystemet för den aktuella marina operationen behöver ingå. Underlag från existerande istjänster kompletteras med lägesbilder som ingående egna enheter kontinuerligt rapporterar in inom aktuellt operationsområde. På så sätt ges möjlighet att över tiden upprätthålla en mer finmaskig bild även kring var hoten från mindre isobjekt finns baserat på högupplöst sensorinformation ombord. Det kommer dock hela tiden att finnas avsevärda luckor då havsområdet är stort och isen rörlig. Prognoserna blir av typen områden där hög risk för *growlers* och *bergy bits* föreligger baserat på senaste fartygsbaserade sensorrapporterna och med hänsyn tagen till rådande väder- och vindförhållanden sedan dess. Till syvende och sist blir sensorerna ombord på den egna plattformen avgörande för upptäckt och undvikande av enskilda isobjekt.

5.3 Behovsanalys, val av sensorplattformar

Fartyg och infrastruktur är idag helt beroende av sensorer för att undvika skador eller i värsta fall förlisning i samband med svåra förhållanden som kan råda i Arktis. Radar är sedan många år ett nödvändigt krav inom hela sjöfarten, och på större fartyg är radar på både S-band¹⁹ och X-band²⁰ ett krav. För ökad säkerhet till sjöss har *International Electrotechnical Commission* (IEC) introducerat standarden IEC62388 ”Shipborne Radar” med krav att även upptäcka små båtar med 10 m längd och 1.4 m² målarea upp till 3 nautiska mil på S-bandet.

Radarns stora fördel är allväderskapacitet och lång räckvidd samt förmågan att positionera objekt med bäring och avstånd relativt det egna fartyget. Dagens navigationsradar har dock otillräckliga prestanda mot små sjömål och endast en begränsad förmåga att känna igen och identifiera objekt. Här finns alltså en betydande potential att utnyttja framsteg inom modern sensorteknologi, sensorinformatik och ledningssystem.

Det traditionella sättet att få en överblick över issituationen i närheten av fartyg är att genomföra isrekognosering, t.ex. med fartygets helikopter. Spaning efter isberg görs också regelmässigt med flygplan av International Ice Patrol kompletterat med satellitradar

¹⁹ S-band definieras som området 2 - 4 GHz.

²⁰ X-band definieras som området 8 - 12 GHz.

baserad på syntetisk apertur (*Synthetic Aperture Radar*, SAR, se avsnitt 5.5). Dagens SAR-satelliter har som bäst en upplösning på ca 2 m men stråkbredden begränsas då till ca 10 km vilket ofta inte är tillräckligt för operativa behov. 100 km stråkbredd är betydligt mer intressant men då begränsas å andra sidan upplösningen till ca 20 m vilket försvårar bildtolkningen. På lite längre sikt (10 år) kommer förmodligen nya systemlösningar att introduceras som samtidigt ger både hög upplösning och stor stråkbredd. I dagsläget har därför satellit-SAR sin största användning i samband med storskaliga isobservationer med lägre krav på upplösning (100 m) och uppdatering (dygn). Många operativa tillämpningar, t.ex. inom offshorebranschen, ställer alltså högre krav på samtidigt stråkbredd (totalt km), upplösning (några meter) och uppdatering (några timmar) än det som satellit-SAR i dagsläget kan erbjuda.

Moderna yttäckande sensorer (SAR, laser, IR) monterade på flygplan, helikoptrar eller obemannade farkoster (*Unmanned Aerial Vehicles*, UAV) skulle kunna ge mycket användbar isinformation för många operativa tillämpningar. Trots det finns ingen tydlig trend att system utvecklas och testas. Problemet ligger dock inte hos bristfälliga sensorer utan snarare att plattformarna är svåra och kostsamma att använda i Arktis. Inom offshoreindustrin är man överhuvudtaget ytterst tveksam att använda flygande plattformar av dessa skäl. Istället önskar man sig sensorerna monterade på fartyg eller annan mer eller mindre fast infrastruktur.

Ett fartygsbaserat sensorsystem är därför att föredra i de flesta fall. Det bör bestå av en kombination av sensorer, t.ex. radar, laser, IR och sonar, för att uppnå största möjliga samverkansfördelar och därmed effektivitet. Även samverkan med aktiv sonar kan studeras. Sensorernas enskilda egenskaper beskrivs i detalj i kommande avsnitt. Samverkan mellan sensorerna kräver dessutom ett modernt ledningssystem med integrerad informationsöverföring och hantering samt verktyg för visualisering och beslutsstöd.

Ett speciellt behov är att upptäcka *growlers* eller *berg bits* i öppen sjö som kan ställa till med allvarliga skador på fartyg utan isklass. Hotet kommer att bestå även i framtiden, speciellt för fartyg som används för transporter till Arktis. Här finns behov av sensorsystem som kan upptäcka små isberg med tillräcklig förvarning.

5.4 Radarsystem

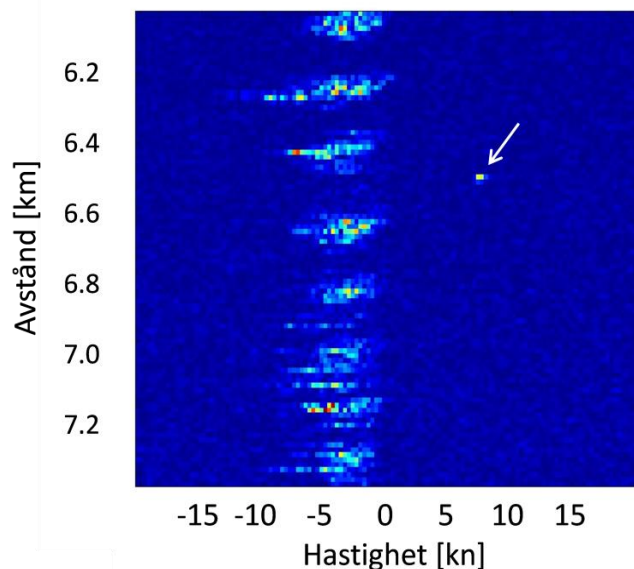
Dagens navigationsradar för sjöfarten är uteslutande baserad på magnetronsändare som ger hög medeffekt och därmed räckvidd till en förhållandevis låg kostnad. En nackdel är dock att modern signalbehandling inte kan utnyttjas fullt ut eftersom fasen hos utsända pulser varierar. Motsatsen, dvs. en stabil fas mellan pulser, används i koherent radar som har varit standard i militära system under många år. De modernaste systemen i t.ex. stridsflygplan har en koherent radar med elektriskt styrbar antenn med flera parallella digitala mottagarkanalerna. Det ger den absolut bästa prestandan men till en mycket hög kostnad. En vanlig tumregel är att 1/3 av stridsflygplanets kostnad är dess radar.

Det börjar dock bli alltmer vanligt med koherent radar i kommersiella tillämpningar till en betydligt lägre kostnad. Bilindustrin är ett exempel där koherent radar introducerats på senare år för att öka säkerheten och t.ex. mäta hastighet med Dopplertechnik hos framförande fordon. Trafikverkets vägkameror innehåller också en enkel koherent radar. Marknaden för navigationsradar börjar också se enstaka exempel på koherent radar men än så länge i relativt små volymer.

Med koherent radar öppnar sig möjligheten att förbättra räckvidden genom koherent integration i avstånd och Doppler. På senare år har utvecklingen inom mikro- och konsumentelektronik dock inneburit att kostnaden för sändar-, mottagar- och digitalteknik sjunkit dramatiskt. Tidigare användes dyra och underhållskrävande vandringsvågör för att generera koherenta radarpulser med hög effekt men de ersätts nu alltmer av halvledarbaserad sändarteknik. I framtiden förväntas även en successiv övergång till kiselmaterial

som används i konsumentelektronik vilket skulle sänka kostnaderna ytterligare och göra tekniken mer konkurrenskraftig.

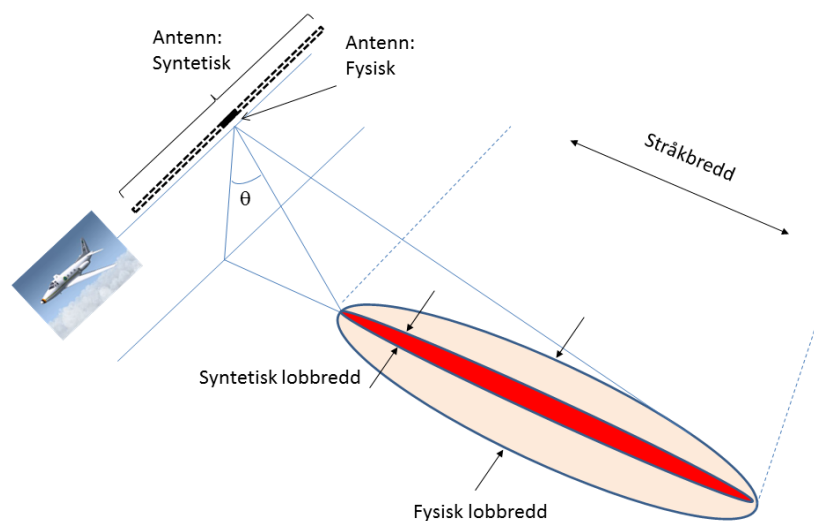
Utvecklingen av ett koherent radarsystem (MARINA) med halvledarsändare är sedan några år under utveckling på FOI. Systemet ligger på S-bandet men en framtida uppgradering till X-bandet planeras. Flera lösningar som implementerats är baserade på erfarenheter gjorda med FOI:s flygradarforskning, bl.a. digital-analog-omvandling av digitalt genererad vågform och högdynamiska mottagare utvecklade för signalspaning. De första fältproven genomfördes hösten 2011, se Figur 15. Systemet utvecklas inom ett projekt samfinansierat av Försvarsmakten och EU inom sjunde ramprogrammet.



Figur 15: Koherent radardiagram av en liten båt (vid pilen) omgiven av kraftiga havsvågor. Båten separeras genom sin högre hastighet från det ljusa bandet som orsakas av oönskade vågekon (klotter). Bild från Ragnarsson et al. (2011).

5.5 SAR

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) är en vanligt förekommande teknik där rörelsen hos plattformen för sensorn utnyttjas för upplösning i framåtriktningen. Upplösningen ges av samplingstätheten och därmed blir radarns upplösning relativt oberoende av avståndet till mätobjektet och således kan en god upplösning fås även vid stora mätavstånd som från exempelvis en högt flygande plattform eller från en satellits bana till jorden. Upplösningen i flygriktningen blir dessutom mycket hög genom att plattformens och därmed även radarns rörelse utnyttjas och upplösningen ges genom att kombinera flera olika mätningar (och därmed flera olika aspektvinklar) mot objektet. Eftersom radarns upplösning härmed blir i princip oberoende av den fysiska antennlängden och avståndet till mätobjektet kan således en god upplösning fås även vid stora mätavstånd som från exempelvis en högt flygande plattform eller från en satellits bana till jorden. Upplösning i sida ges av den sidotittande geometrin, där returen från objekt längre bort i sidled kommer tillbaka till radarn lite senare än motsvarande för objekt närmare plattformen. Figur 16 nedan visar en schematisk bild över geometrin för ett SAR-system.



Figur 16: Schematisk beskrivning av geometrin för ett SAR-system. Bild: FOI.

Stråkbredden, se Figur 16 ovan, för systemet bestämmer vilken yta radarn täcker. En stor yta ger en snabb yttäckning, men även en lägre effekttäthet per ytenhet. Det vore därför önskvärt att kunna variera stråkbredden beroende på önskad yttäckning för att kunna fokusera radarns energi till området av mest intresse, vilket exempelvis kan göras med hjälp av gruppantenn, se nedan.

Vanliga frekvensband för SAR är X- och Ku-bandet²¹. Rent allmänt används Ku-bandet i huvudsak för satellitkommunikation, vanligen TV-sändning, men även för kommunikationsändamål mellan olika rymdfarkoster. Dessa frekvensband är lämpliga för SAR-system av flera anledningar. En stor bandbredd fås genom den relativt höga bärfrekvensen, interferens med andra signaler är liten eftersom bandet inte används i lika stor utsträckning som många andra band och själva antennerna blir små på grund av den relativt höga frekvensen²².

För en UAV är tillgängligt utrymme, vikt för sensorn och effekttillgången starkt begränsat, vilket ställer höga krav på sensors utformning. Tillgängligt utrymme, effektförbrukning och tillåten sensorvikt för radarfunktionen på en medelstor UAV uppgår till några tiotal dm² som största tillgängliga antenntyta, max 100 W effekttillgång och enstaka kg som maximal sensorvikt. En gruppantennlösning på Ku-bandet kan exempelvis realiseras med plana antennelement av typen patchar (kvadratiska metallytor). Med en våglängd på Ku-bandet på 17-25 mm ryms 32 x 32 sådana antennelement på ytan 0,3 m x 0,3 m. Med ett antaget antenngain på π per antennelement fås då ett antenngain på 1024π för antennen, omräknat i dB blir förstärkningen 33 dB, vilket kan anses som tillräckligt högt för vanligt förekommande applikationer. En gruppantenn skulle kunna realiseras med omkonfigurerbar antennlobstorlek och därmed skulle antenngainet kunna variera och därmed också systemets stråkbredd beroende av önskad yttäckning.

Sambandet gäller naturligtvis även för satellitbaserade SAR-system. Intresset för att kunna konfigurera med olika stråkbredder och därmed också variera upplösningen finns även för satellitbaserade system. Med fördel implementeras även den här applikationen på Ku-bandet, av liknande anledningar som ett UAV-baserat system, se föregående avsnitt. Typiska krav för en satellitbaserad SAR bedöms vara i samma storleksordning som för en medelstor UAV. Den största skillnaden jämfört med flygburna system är att den

²¹ Ku-band är 12-18 GHz och används i stor utsträckning för kommunikation från geostationära satelliter.

²² <http://www.newsat.com/Satellites/kuband.html> (kontrollerad 2012-10-12).

tillgängliga antenntyten måste ökas till enstaka m², detta för att uppfylla kravet på entydighet i avstånd och doppler. Den relativt korta våglängden för Ku-bandet ger möjligheter till en mycket stor antenn med ett mycket stort antal antennelement (c:a 6400 element per m² med en antennförstärkning på ca 41 dB).

Exempel på verksamma satelliter bestyckade med SAR-funktion i Europa är TerraSAR-X, Cosmo Skymed och Radarsat 1 och 2. Alla dessa SAR-system har spotlight SAR (där radarloben riktas om för att belysa samma område under hela apertursträckan) och stripmap SAR-funktion (där radarloben inte omriktas under apertursträckan utan förflyttar sig med flygplanets förflyttning). De två förstnämnda satelliterna använder sig av gruppantenn teknik för att kunna styra stråkbredden och därmed även dess upplösning. Tabell 5 nedan visar prestanda och funktionalitet för TerraSAR-X. TerraSAR-X och Cosmo Skymed arbetar på X-bandet medan Radarsat 1 och 2 opererar på C-bandet²³. Figur 17 visar ett foto över satelliten Radarsat-1.

Tabell 5: Prestanda och funktionalitet för TerraSAR-X24.

Mod	Scenstorlek (km ²)	Upplösning (m)	Max. striplängd (km)	Polarisation
SpotLight	10 x 5	1	--	enkel, dubbel
StripMap	30 x 50	3	4200	Enkel, dubbel, fyrdubbel
ScanSAR	100 x 150	16	4200	enkel



Figur 17: Bild av satelliten Radarsat-1. Bild: Canadian Space Agency²⁵.

Det finns även en rydbaserad SAR-funktion inriktad mot upptäckt och varning för isberg i farvatten runt Kanada. Internetsidan <http://www.icebergfinder.com/technology.aspx> (kontrollerad 121030) presenterar och sammanställer SAR-bilder från satelliterna

²³ C-band ligger inom intervallet 4-8 GHz.

²⁴ http://www.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r466_9_tx-gs-dd-3302_basic-product-specification-document_v1.7.pdf (kontrollerad 2013-01-14).

²⁵ <http://www.asc-csa.gc.ca/images/recherche/images/6.jpg> (kontrollerad 2013-02-08).

Radarsat-1. Funktionen kan, enligt sidan, särskilja isberg mot fartyg och exempel på detektion av isberg ned till storleken 20 m.

5.6 Lasersystem

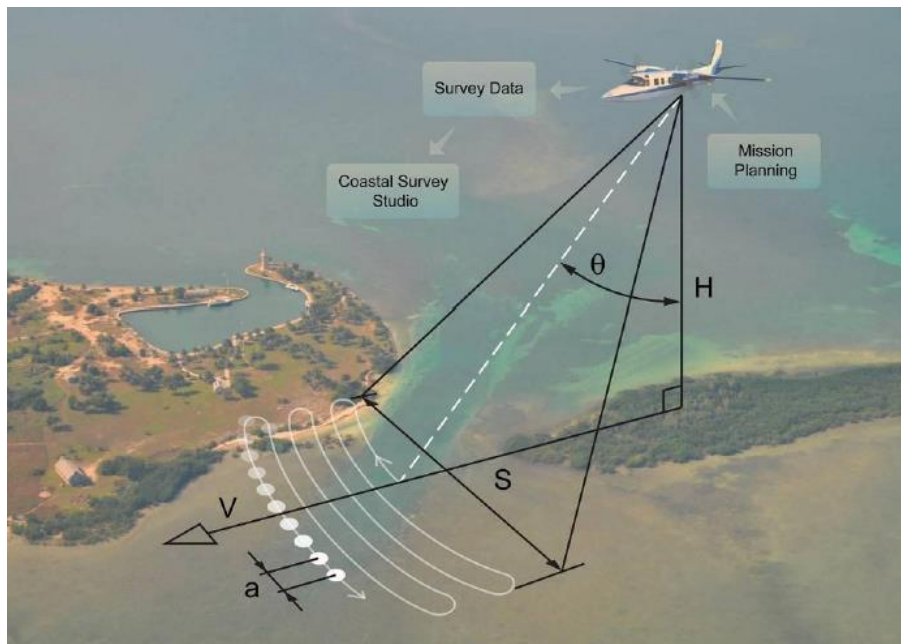
Lasersystem används för spaning, klassificering, identifiering och kommunikation. Laserstrålning är elektromagnetisk strålning med våglängd inom det ultravioletta (UV), visuella (VIS) eller infraröda (IR) området.

Laserstrålningen kan propagera "fritt" t.ex. i atmosfären (*free space optics*, FSO), i vatten, eller i fasta ämnen som optiska fibrer. Ett lasersystem är ett aktivt optiskt system till skillnad mot kameror (VIS eller IR) som är passiva optiska system, vilka samlar in reflekterat omgivningsljus eller emitterad strålning (t.ex. värmestrålning) från t.ex. den scen som avbildas.

Laserstrålningens egenskaper är att strålningen kan göras koherent (de elektromagnetiska vågorna svänger i fas), kollimerad (strålarna emitteras nära nog parallellt) och monokrom (strålningen har ett smalt våglängdsområde). I lasersystem används en eller flera av dessa egenskaper för att uppnå prestanda som inte passiva optiska system klarar av. Koherens utnyttjas t.ex. i dopplerlidar eller fiberlasersensorer. Laserns möjlighet att skapa kollimerad strålning utnyttjas t.ex. i laseravståndsmätare för att uppnå ett smalt strålknippe och därmed lång räckvidd. Laserstrålning kan genereras med korta pulser vilket medför att t.ex. avståndsmätning eller tredimensionell avbildning kan göras med hög upplösning och noggrannhet. Nedan följer en kortfattad redovisning av möjliga lasersystem och tillämpningar i arktiska miljöer.

5.6.1 LIDAR

Laseravståndsmätare används redan i många av Förvarsmaktens fartyg. En variant eller utveckling av avståndsmätaren är en lidar (Light Detection And Ranging), där lasern pulsas regelbundet samtidigt som laserstrålen och mottagaren sveps eller skannas. En vanlig tillämpning för lidarsystem är topografisk och batymetrisk (undervattenstopografi) kartering från flygplan (flygburen laserskanning). I Figur 18 visas mätprincip för det svensktillverkade HawkEye II-systemet. HawkEye II samlar in både topografisk och batymetrisk data via två separata kanaler med våglängderna 1064 nm (nära infrarött, NIR) respektive 532 nm (visuellt, grönt). Flygburen laserskanning görs normalt (nuvarande operativa batymetrisystem) från flyghöjder mellan 200 m och 500 m, med en stråkbredd om 100 m - 200 m. Utvecklingen av dessa system går mot mindre, lättare och billigare system. Ett exempel är Chiroptera-systemet som väger ca 80 kg, vilket motsvarar ungefär hälften av vikten för HawkEye II. Djupräckvidden för flygburen batymetrisk laserskanning är 10-15 m i kustfarvatten och mer än 20-30 m i klarare vatten.

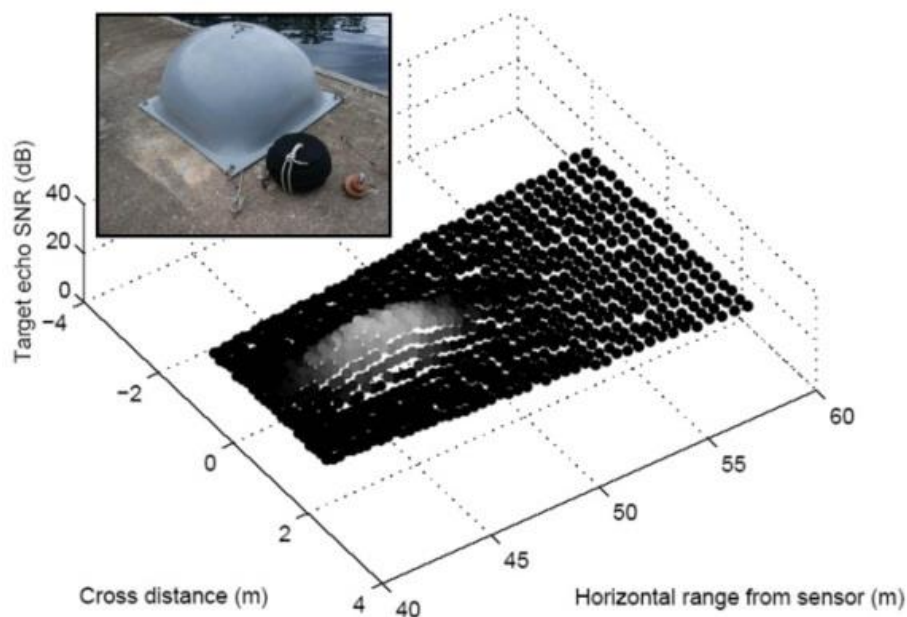


Figur 18: Mätprincip för flygburen lidar. Bild: Airborne Hydrography AB.

Tänkbara tillämpningar för denna teknik i arktiska förhållanden är taktisk kartering, förändringsdetektion och detektion av ytnära objekt t.ex. drivande is. Ett helikopterburet system skulle kunna operera från fartyg. Med utvecklingen mot kompaktare system är även ett UAV-buret system en realistisk möjlighet. Ett annat alternativ är ett fartygsmonterat system (i mast eller fören på fartyget), vilket skulle kunna varna för hinder eller detektera andra ytnära undervattensmål, se Figur 19. Det finns idag inga sådana operativa system, men tekniken har utvärderats av FOI, se Figur 20. De första resultaten visar att objekt kan upptäckas ned till ett fåtal meters djup under vattenytan. Hur långt avstånd framför fartyget som kan övervakas är osäkert, men 100 m avsökning framför fartyget bör vara möjligt. Detta är också en designfråga där bland annat monteringshöjd och uteffekt i systemet inverkar. En fartygsburen lidar är ett kraftfullt komplement till spaning med radar och framåttittade sonar vilka båda ger relativt svag signal i förhållande till bakgrunds-klotter för ytnära och små undervattensmål. I en fartygs lidar erhålls mycket små bakåreflexer från vattenytan, pga. att våglängden är mycket kortare än vattenytans struktur. Simuleringar för vågtillstånd motsvarande vindhastigheter mellan 1 m/s och 9 m/s har visat att mycket små bakåreflexer erhålls för alla dessa vågtillstånd. Simuleringarna visade även att detektion är möjlig vid dessa vindhastigheter (Tulldahl och Pettersson, 2007).



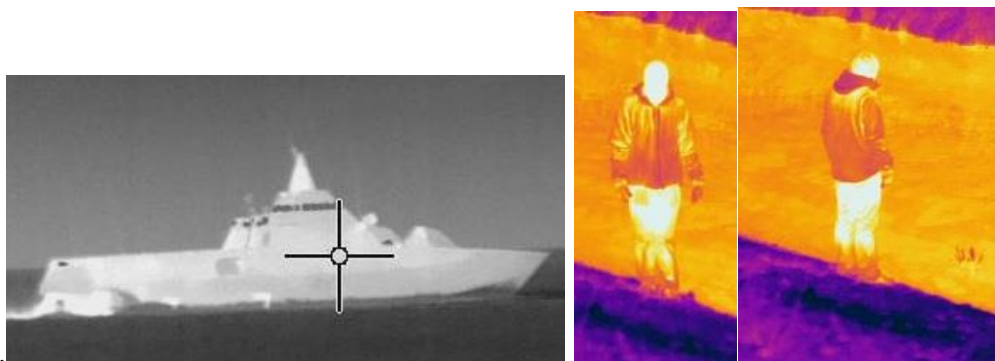
Figur 19: Mätprincip för fartygsburen lidar för detektion av ytnära undervattensmål. Bild: FOI.



Figur 20: Exempel på detektion av mål (halvsfär med 1.2m diameter, foto infällt i figuren). Toppen av målet var beläget 0.5 m under vattenytan och sensorn 5 m över vattenytan, vilket medför att sensoraxelns infallsvinkel mot vattenytan var ca 6°. Sjöstillståndet var lugnt vid mättillfället (vind ca 1-2 m/s), men simuleringar har visat att detektion är möjlig även vid högre sjöstillstånd. Bild: FOI.

5.7 Infraröda sensorer i arktiska miljöer

Det finns många applikationer för olika IR sensorer även i Arktis som med sin låga bakgrundstemperatur medger högre kontraster jämfört med varmare breddgrader. I synnerhet våglängderna i mellanvågs-IR vid 3-5 μm och långvågs-IR vid 8-15 μm upptäcker båtar och människor mycket bättre än rent visuella sensorer eftersom kontrasten mellan vatten/is och båtar/människor är hög och svår att maskera som vi kan se i Figur 21. Detta är också anledningen att marinens sikten är utrustade med en IR kamera.



Figur 21. Exempel på ett marint mål till vänster och person i kontrast mot vatten och snö till höger. Bilder: FOI.

Utöver att IR-sensorer kan upptäcka objekt eller levande ting bättre än visuella sensorer så kan de dessutom se igenom snörök, dimma och andra optiska hinder bättre än rent visuella sensorer.

Nackdelarna med IR sensorer är högre kostnader som inte medger lika hög upplösning för samma kostnad som en visuell eller när-IR sensor. Samt att bilder kan vara lite svårtolkade

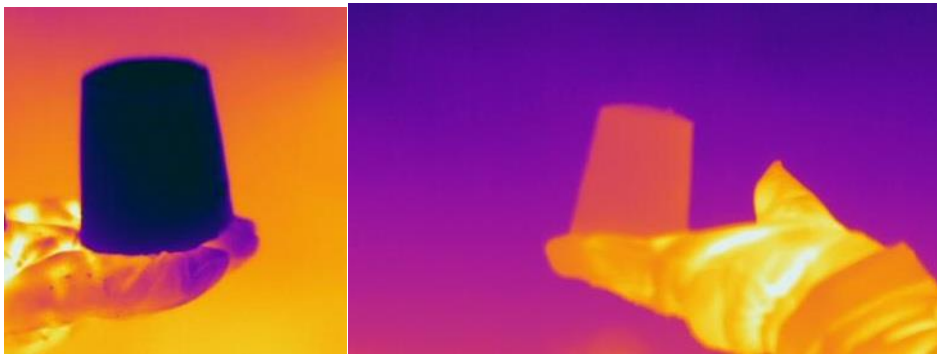
i och med att saker kan ha ”färg” (formellt emissivitet) även i IR men denna ”färg” stämmer inte alltid överens med vad man kan förväntas från visuella bilder.

5.7.1 Isbergsdetektion

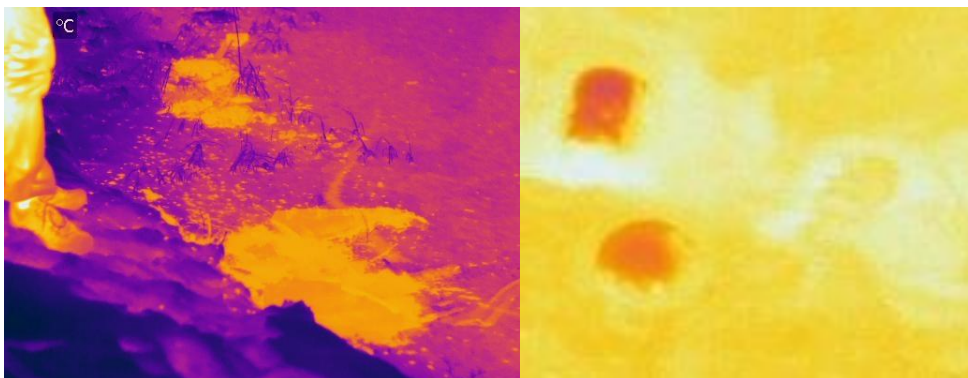
Att genomföra isbergsdetektion med IR sensorer är ett oprövat område men inom ramen för rapporten har småskaliga försök genomförts som visar blandade resultat som bör provas i full skala för att kunna verifiera eller dementera funktionsdugligheten. Vad som användes var isbergssimulanter av dels hårdpackad snö och dels kärnis, se Figur 22.

Två försöksmiljöer användes, varav den ena var isbelagd. Vid försöken hackades ett hål upp i isen på den senare och isbergssimulanterna släpptes ner i vattnet. Dessa försöksmiljöer visar att det kan finnas möjligheter att se kärnis i vatten men svårt att se packad snö, se Figur 23 och Figur 24.

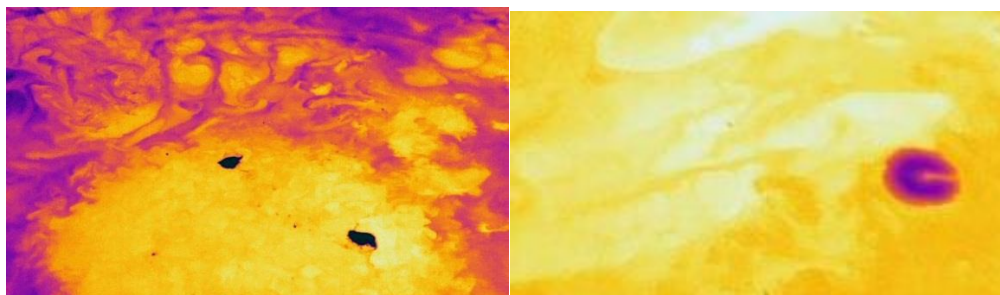
Dessa försök visar å andra sidan goda möjligheter för båda isbergssimulanttyperna. Så det är svårt att dra konkreta slutsatser men det finns potential som inte bör förskingras och som kan motivera fullskaliga prov. Det är dock tänkbart att metoden kan försvåras av den specifika istypen, vattentypen och formen på vattenytan med vågor som kan förändra aspektvinkeln.



Figur 22. Isbergssimulanterna gjorda av kärnis med markbakgrund till vänster och himmelsbakgrund till höger. Föremålen hålls i en hand. Bilder: FOI.



Figur 23. Till vänster är en mindre sjö med istäcke som används som den första försöksmiljön. Till höger är den resulterande bilden av tre isberg av olika typ med två isberg av kärnis till vänster och ett isberg av packad snö till höger som syns väldigt dåligt. Bilder: FOI.



Figur 24. Den andra försökmiljön med ett strömt vattendrag som höll en högre temperatur eftersom vattnet kommer från ett djupare jordlager som inte hade tjäle. I detta vattendrag placerades de två isbergssimulanttyperna, packad snö till vänster och kärnis till höger. Bilder: FOI.

5.8 Sammanfattning och slutsatser

Fartyg och infrastruktur är helt beroende av sensorer för säker navigering i de svåra is- och väderförhållanden som ofta råder i Arktis. Den viktigaste sensorn för ytspaning är radar eftersom den har lång räckvidd och ger en god lägesbild av fartygets omgivning under alla väderförhållanden. Dagens navigationsradar har dock otillräckliga prestanda mot mindre objekt, t.ex. små isberg, som kan ge stora skador på plattformar och utrustning. Radar behöver också kompletteras med andra sensorer för igenkänning och identifiering.

Det finns stort behov av att utveckla ett fartygsbaserat system för isbergsdetektion. Det bör bestå av en kombination av sensorer (radar, laser, IR och sonar) som är integrerade i ett ledningssystem. Ett prototypsystem bör utvecklas i nära samverkan med slutanvändare. Systemet skulle även kunna användas för upptäckt av andra små objekt, t.ex. minor och personer.

Satellitradar utnyttjas ofta för storskalig iskartering men har i dagsläget otillräcklig prestanda för många operativa tillämpningar i Arktis. Framtida system bör utvecklas med en kombination av hög upplösning, stor stråkbredd och uppdateringstakt för att möta användarnas behov.

6 Radiosamband i Arktis

6.1 Förutsättningar och behov

Detta avsnitt redogör för olika kommunikationsmöjligheter i Arktis, i första hand utifrån behov vid militära operationer eller övningar. Behovet av kommunikation i Arktis styrs av vilka uppgifter som ska lösas, ingående enheters förmågor och vald ledningsmetod.

I de flesta fall kommer avstånden mellan de deltagande enheterna vara sådana att system för långräckviddig kommunikation måste användas inom missionen. Ett alternativ för långräckviddig kommunikation är att varje deltagare i missionen använder sig av nationella system till sitt lands hemmastab. Där sker anslutning till infrastruktur och samordning med övriga länder. Ett annat alternativ är en för missionen gemensam internetportal för order, rapporteringar, lägesbild och chat. Alla system som kan ge internetaccess kan då användas. Varje deltagande land kommer dock alltid ha nationella system för nationell ledning.

6.1.1 Trafikbehov

Grunden är ett autonomt uppträdande med tydlig uppdragstyrning. Villkoren för att använda våld i olika situationer måste dock förhandlas med den stab som leder fartygen. Dessa regler, ROE (*rules of engagement*), ska förankras och det kan vara tidskritiskt.

Kommunikation av order och rapporter följer tydliga regler. Ofta används ACP-127 (Nato-varianten av 8000 formatet som svenska marinen använder), vilket våra fartygssystem kan hantera. Datamängden som behöver överföras är begränsad, vilket gör att våra marina uppdrag kan ledas över HF²⁶ och samma gäller för andra länder.

RMP (*Recognized Maritime Picture*) är den ensade och fastställda lägesbild en stab (eller funktion) ger ut med jämna mellanrum. Den är på ACP-127 format med måltyp och koordinater, vilket innebär att inga större datamängder behöver överföras, vilket gör att det klaras på HF. COP (*Common Operational Picture*) är ett mer luddigt begrepp typ gemensam lägesbild. Här krävs högre bandbredd, typiskt några hundra kbit/s.

Väderprognoser och nyheter borde inte innebära några större datamängder men skenet bedrar. Flera av försvarets tjänster är internetbaserade och kräver stora bandbredder. (Utvecklarna har inte förstått de bandbredds begränsningar som mobila plattformar har).

Försvaret har infört PRIO med delfunktionen LIFT för logistik, vilka tyvärr är utvecklade utan tanke på bandbredds begränsning. Idag kan ingen av marinens fartyg använda detta när de kastat loss, trots att kravet är att de måste använda detta för tidrapportering mm. Mjukvaruplattformen som PRIO bygger på används av andra försvarsmakter och de funktionerna klarar lägre bandbredd; att få ett system som fungerar med lägre bandbredd är en ekonomisk/politisk fråga. I dag används enkla logistiksystem som klarar sig med låg bandbredd men kräver mer personalinsats.

Welfare, dvs. e-post, internet, TV mm. sker via satellitkommunikation. Vid resursproblem eller när Ku-bandslänken faller så stängs welfare ned eller order går ut att welfare inte får användas.

Ett stort behov finns av pålitligt talsamband mellan deltagare i expeditionen. Textbaserade meddelanden, typ SMS, är också viktigt att kunna använda.

²⁶ High Frequency, 3 – 30 MHz.

Ett marint fartyg har alla de system som ett handelsfartyg har för att samverka med andra parter, VHF²⁷, HF, FleetBroadband (INMARSAT)²⁸ och GMDSS²⁹. Förutom detta har en del svenska fartyg även IRIDIUM och Nato system som LINK 11. Från 2017 ska vi ha tillgång till LINK 22. Men säkert tal och säker data mot andra länder kommer att kräva politiska insatser för att vi ska få tillgång till nödvändigt krypto. Det är politik mer än teknik som avgör vilka system vi kommer att kunna använda.

Samverkan med civilt flyg görs med analogt tal över VHF/UHF³⁰. Med militärt flyg används i dag enbart öppet analogt tal på VHF/UHF, men Havequick II (främst tal) har anskaffats och håller på att installeras. Detta ger säkert tal, som kan användas inom ramen för Nato-insatser. Systemen kommer att vara förberedda på efterföljaren SATURN. LINK 16 kan redan nu finnas på vissa fartyg. För långdistanskommunikation till flygbas använder i dag transportflyget HF och IRIDIUM. Hur stridsflyg kommer att vara utrustat i framtiden är ännu oklart. IRIDIUM har diskuterats, men även TACSAT kan vara aktuellt, något vissa helikoptrar redan har idag.

6.1.2 Infrastruktur

Infrastrukturen för telekommunikation är obetydligt utbyggd i Arktis. Data över optisk fiber finns dock till Svalbard, och baser på Grönland har också tillgång till Internet via fiber eller geostationär satellitkommunikation.

6.1.3 Vågutbredning

Radiosignalerna påverkas dels av tillståndet i troposfären och dels av tillståndet i jonosfären. Olika frekvensband påverkas på olika sätt. För VHF, UHF och mikrovågs-länkar är det troposfären som påverkar. Förhållandena i troposfären varierar stort världen över, men bedömningen är att Arktis inte är unikt och därför är förväntningen att VHF, UHF och mikrovågs-länkar kommer att fungera som på andra platser. Vågutbredningen i fallet VLF³¹ liknar den som finns i vågledare för mikrovåg, men med andra storlekar på vågledaren och våglängden. Vid t.ex. 20 kHz är våglängden 15 km. För geostationära satellitsystem kommer däremot troposfären ha större inverkan i Arktis än vid lägre latituder. Orsaken är den låga vinkeln mot satelliten vilket gör att signalen färdas en betydligt längre sträcka genom troposfären. Kraftiga eller utsträckta regnväder kommer att ge störningar eller avbrott och särskilt tydligt är detta för Ku-bands satelliter.

Jonosfären över Arktis skiljer sig avsevärt mot jonosfären på lägre latituder. Typen av jonosfärstörningar är betydligt fler och förekomsten av störningar betydligt högre. VLF, HF och satellitkommunikation kommer därför att påverkas av jonosfären men på olika sätt. Ett komplext samspel mellan solstrålning i olika våglängder och hur gaserna i atmosfären fördelas med höjden skapar ett antal joniserade skikt med olika egenskaper. För VLF är D-skiktet (se Figur 25), det lägsta skiktet, av betydelse då detta skikt dagtid ger en vågledarliknande utbredning. Följden är att utbredningen varierar mellan dag och natt. Dagtid sker reflektion på ca 70 km höjd och nattetid på ca 90 km. HF utnyttjar E-men framförallt F-skiktet som ”reflektor” att studsas mot. E-skiktet, liksom D-skiktet, finns bara dagtid medan F-skiktet behåller sin jonisation betydligt längre och är vid lägre latituder användbart hela natten, men långa arktiska vinternätter gör att jonisationen *försvinner* och därmed möjligheten att reflektera signalen. Det lägsta skiktet, D-skiktet, dämpar HF-signalen. Satellitkommunikationssystem på L-band påverkas då signalen passerar igenom jonosfären. IRIDIUM, INMARSAT och GPS är alla L-band system.

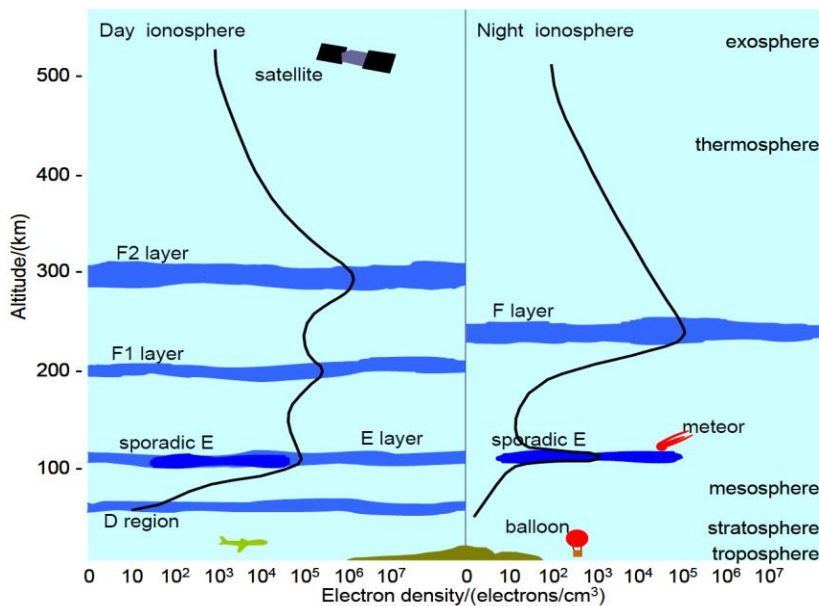
²⁷ Very High Frequency, 30 – 300 MHz.

²⁸ FleetBroadband är den vanligaste tjänsten för både data- och telefontrafik till och från fartyg via satellit.

²⁹ Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS, är ett regelverk för nödsignalering från fartyg.

³⁰ Ultra High Frequency, 300 – 3000 MHz.

³¹ Very Low Frequency, 3 – 30 kHz.



Figur 25: Dag och nattförhållanden i jonosfären. Bild från Radio and Space Services, Australian Government Bureau of Meteorology.³²

Den stora skillnaden i jonosfären över Arktis jämfört med lägre latituder är att jordens magnetfält för ned massor av laddade partiklar från solen. Det ger magnifika norrsken men också upphov till kraftiga jonosfärstörningar. För HF betyder det att ”reflektorn” F-skiktet förvandlas till ett diffust och snabbt varierande moln av laddningar vilket får till följd att kommunikationen inte fungerar eller att kapaciteten reduceras avsevärt. Vissa typer av partikelflöden kan öka jonisationen i D-skiktet vilket har till följd att HF signalerna inte når F-skiktet. De avbrotten kan vara i flera dagar. För UHF och L-bands baserade satellitsystem kommer fluktuationerna i laddningstäthet ge upphov till snabbt varierande fas, s.k. scintillation. Det liknar det optiska fenomen som gör att stjärnor blinkar. Följden är att de marginaler för signalvariationer som finns i systemen äts upp och i värsta fall upphör systemen att fungera. För INMARSAT med redan svaga signaler är detta allvarligt. I GPS-fallet ger scintillationerna upphov till positionsfel. Ku-band system påverkas dock inte av jonosfären då de arbetar på en betydligt högre frekvens.

6.2 Möjligheter med olika radiosystem

6.2.1 VLF – LF

Radiosändningar på VLF och LF³³ kan tas emot på mycket stort avstånd. Vågutbredningen är oftast stabil och sker dels som markvågutbredning men också genom reflektion mellan jonosfärens lägre skikt och jordytan, som beskrivits i avsnitt 6.1.3 ovan. Med en mycket stark sändare är det möjligt att nå hela Arktis. VLF-signaler tränger igenom is, även om den dämpas något, och också ett antal meter ner i havsvatten. Mottagning ombord på ubåt är möjlig, givet att mottagarantennen är nära ytan. De begränsningar som finns är att sändarantennen måste vara mycket stor för att få någon realistisk verkningsgrad, att sändareffekten måste vara hög för att övervinna störningarna samt att bandbredden begränsas.

³²<http://www.ips.gov.au/Category/Educational/Other%20Topics/Radio%20Communication/Intro%20to%20HF%20Radio.pdf> (kontrollerad 2013-02-13).

³³ *Low Frequency*, 30 – 300 kHz.

En sändarantenn för LF behöver typiskt vara 200 m hög och för VLF behövs antingen en mast på ca 400 m eller flera master på några hundra meter. Alternativa antennkonstruktioner har prövats, t.ex. har Norge en VLF antenn i form av antennlina, dragen mellan bergen, tvärs över en fjord³⁴. Även om VLF-antennerna är stora, så är de elektriskt små, vilket gör att impedansanpassningar måste göras mellan sändaren och antennen. Om verkningsgraden ska bli realistisk så blir impedansanpassningen smalbandig. Detta leder till att radiosignalens bandbredd måste begränsas till ca 100 – 200 Hz. På VLF-området används idag huvudsakligen 200 baud MSK³⁵ och på LF även 300 baud MSK.

Ett antal sändare som når ut över Arktis är aktiva. Med lämpliga samarbetsavtal kan de användas för att nå ut till marina enheter. Några exempel på sändare på västsidan finns i Tabell 6.

Tabell 6: Exempel på VLF/LF-sändare.

Anläggning	Placering	Frekvens
Novik JXN	Nordnorge	16,4 kHz
Rhauderfehn DHO38	Nordtyskland	23,4 kHz
Cutler NAA	USA:s norra atlantkust	24,0 kHz
Grindavik NRK/TFK	Island	37,5 kHz

De svenska LF-sändarna som marinen använder har inte täckning i Arktis. Sverige har också en historisk VLF-sändare i Grimeton. Dess antenn används tillsammans med en modern sändare av marinen, men dess utstrålade effekt är låg. Planer finns på att uppföra en ny VLF-antenn i Sverige för marinens behov. En sådan ny sändare skulle troligen få viss täckning i Arktis.

Mottagarantennen behöver däremot inte vara så stor. En aktiv stavantenn eller en ramantenn fungerar bra trots att verkningsgraden är låg. Både signal och störningar drabbas lika så signalbrusförhållandet blir acceptabelt. Om mottagning önskas under havsytan bör antennen vara känslig för den magnetiska komponenten i signalen då den dämpas mindre av havsvattnet. En spole lindad runt en ferritkärna fungerar bra.

6.2.2 MF

MF (*Medium Frequency*) omfattar frekvensområdet 300 kHz – 3 MHz. Frekvensområdet används idag av kustradiostationer vid kommunikation med fartyg. Sändarantennerna börjar bli rimliga i storlek för t.ex. en bas. Stabil markvågsutbredning över hav ger möjlighet till räckvidder på 200 – 500 km. Då stormiljön i Arktis är relativt lugn så är det rimligt, att med moderna modem, komma upp i datahastigheter på 40 kbit/s.

6.2.3 HF

Radiosamband på HF³⁶, utnyttjar två olika utbredningsvägar. Markvåg, dvs. utbredning längs mark/havsytan fungerar bra över öppet hav. Avstånd på 200 – 300 km för tal är möjligt med de HF utrustningar som finns på de flesta militära fartyg. Räckvidden för datatrafik blir dock starkt beroende av vilken datahastighet som används. Vid räckvidder om 200 – 300 km kommer datahastigheten att vara runt 5 kbit/s med dagens HF system. Nyare HF standarder är på väg där man genom att öka bandbredden från 3 kHz upp till max 24 kHz kan öka datahastigheten till runt 40 kbit/s på motsvarande avstånd. Men den besvärliga interferensmiljön på HF i kombination med stel frekvenstilldelning kan begränsa den praktiskt möjliga datahastigheten.

³⁴ Novik nära Bodö.

³⁵ Data med 200 bitar per sekund, modulerad med *Minimum Shift Keying* (MSK).

³⁶ Ibland används benämningen kortvåg för 2 -30 MHz

Den andra utbredningsvägen, rymdvåg, utnyttjar reflektion mot jonosfären vilket medför att täckning över hela Arktis är möjlig. Men som nämnts ovan är HF känslig för jonosfärstörningar vilket ger en försämrad tillgänglighet med avbrott som kan vara från några minuter till flera dygn. Ett stort problem är att jonisationen avtar nattetid och under vintertid är jonisationen mycket låg i Arktis. Andra fenomen som norrsken och vindar och strömmar i jonosfären kan skapa tillfälliga jonisationer, men de är svåra att förutsäga. Men det som är avgörande för kommunikationen är var reflektionen mot jonosfären sker. Ett fartyg i Arktis kan därför ha bra HF förbindelse med en motstation i södra Europa men ingen förbindelse med andra fartyg i Arktis. Genom lämplig placering av relästationer kan dock många av problemen undvikas. Ett annat fenomen är att dynamiken i jonosfären över Arktis är stor. Det gör att talkvaliteten kan variera kraftigt och tal kan t.ex. vid norrsken vara omöjligt att förstå trots hög signalstyrka. Detta fenomen påverkar även möjligheten till dataöverföring. Vid bra förhållande kan datatakten bli 3 – 4 kbit/s men vid norrsken upphör de flesta HF modem att fungera trots bra signalstyrka. I de fallen kan robusta moder hos modemen användas men datatakten blir mycket låg, typiskt 75 bit/s.

6.2.4 VHF

Räckvidden på VHF begränsas av radiohorisonten, dvs. något bortom den visuella horisonten, och kräver i stort sett fri sikt. Detta gör att antennens höjd över havet har stor betydelse för räckvidden. Räckvidderna är i storleksordningen 50 -70 km, givet att den lokala störmiljön är låg³⁷, och Arktis skiljer sig i detta avseende inte från andra områden. Huruvida det förekommer ledskikt i Arktis, vilka kan ge betydligt längre räckvidder mellan fartyg, är oklart för FOI.

6.2.4.1 Meteorspårskommunikation

Små meteoriter, typiskt i storlek av sandkorn, faller ständigt in och brinner upp i jordens atmosfär. De skapar ett joniserat spår på ca 80 – 120 km höjd vilket kan reflektera radiosignaler. För kommunikation med hjälp av sådan reflektion används normalt frekvenser mellan 30 och 150 MHz. Varaktigheten av jonisationen är från delar av sekund upp till några sekunder. Meteorspårskommunikation kan användas på avstånd upp till 1500 – 2000 km, men kommunikationen sker skurvis med lång fördröjning (pga. väntan på att lämpligt joniserat spår ska inträffa) och låg genomsnittlig datatakten. Datatakten är typiskt mellan 100 och 300 bitar/s beroende på årstid. Användningsområdet är huvudsakligen insamling av data från obemannade väderstationer, t.ex. finns civila system för detta i Alaska och västra USA³⁸. Militärt har Nato använt meteorspårskommunikation för strategisk kommunikation (COMET). Användningen av satellitkommunikation har dock minskat intresset för meteorspårskommunikation.

För överföring av sensordata från avlägsna platser i Arktis kan meteorspårskommunikation vara ett alternativ. Korta, SMS-liknande meddelanden, kan också överföras om fördröjningar på upp till någon timme kan accepteras.

6.2.5 UHF

För UHF gäller samma begränsningar som för VHF men med något kortare räckvidder. Räckvidderna i Arktis skiljer sig inte från övriga områden. UHF används för tal- och dataöverföring t.ex. till flyg och mellan flyg.

³⁷ Störmiljön på många fartyg är sådan att räckvidden kanske blir 30 km.

³⁸ SNOTEL drivs av *Natural Resources Conservation Service* (NRCS). Systemet rapporterar snödjup. www.wcc.nrcs.usda.gov/snow/
Alaska Meteor Burst Communications System (AMBCS) samlar in klimatdata. www.ambc.org

En variant av UHF-förbindelse är troposcatter³⁹. Dess användning i Arktis är inte trolig eftersom luften i Arktis är relativt torr och denna utbrednings kräver ”bubblor” av områden med avvikande vattenånehalt.

6.2.6 Mikrovågslänkar

Mikrovågslänkar kan t.ex. användas för att koppla samman byggnader inom en bas till ett gemensamt LAN.

6.2.7 Mobiltelefon och andra cellulära system

Inom överskådlig tid är det inte realistiskt att något mobiltelefonsystem ska få stor täckning i Arktis-området. Lokalt i samhällen och på baser kan mobiltelefoni eller t.ex. TETRA⁴⁰ system dock byggas ut. I Arktis är cellulära system på lägre frekvenser att föredra. De ger större räckvidd från basstationen och risken för överbelastning är liten eftersom det är glesst mellan användare. För basstationens anslutning till det globala telefonnätet är optisk fiber på havsbotten det troligaste alternativet. För basstationer upp till ca 80 grader latitud kan också mikrovågslänk till geostationär satellit vara ett alternativ.

På ett fartyg eller en bas kan DECT-telefoner användas både för intern kommunikation och via en växel för samtal eller textmeddelanden över satellit.

6.2.8 Satellitkommunikation

Kommunikationssatelliter kan vara placerade i olika banor runt jorden vilket ger olika egenskaper. Dessa omloppsbanor förklaras i avsnitt 8.3.1.

6.2.8.1 GEO-system

Utbudet av geostationära satellitsystem är relativt stort och förväntas vara det även på 5 till 10 års sikt. Men de lider alla av att de har svårt med täckning över 80 graders latitud. Olika operatörer täcker olika områden på jordklotet vilket kan medföra att en rörlig plattform som ett fartyg kan behöva ha avtal med ett flertal operatörer. Om man överhuvudtaget kan utnyttja geostationära satelliter i Arktis så kommer man att befinna sig i områden där signalen är svag och detta måste kompenseras med hjälp av större antenner än vad som normalt används. Om systemet är placerat på ett fartyg är möjligheten till stora antenner begränsad och antensystemet måste dessutom kompensera för fartygets rullning. Försvarsmakten har vid sina utlandsmissioner använt sig av tre typer av satellitkommunikation och sannolikt kan de vara aktuella även för missioner i Arktis. Två av dem, hyrd Ku-bands transponder och INMARSAT är geostationära.

En transponder kan ses som en länk som studsas på satelliten utan att innehållet i länken påverkas. Ku-band har den fördelen att de inte påverkas av jonosfären. Kostnaden för att hyra en transponder eller del därav är dock hög. De som har hyrts för FM-satellitkommunikation har haft bandbredden 2 eller 4 Mbit/s. Ett alternativ till hyrd transponder som används av FM-satellitkommunikation är INMARSAT där man kopplar upp sig mot satelliten och betalar för den tid och kapacitet som man använder. Även här är kostnaderna höga. INMARSAT arbetar på L-band vilket gör den känsligt för jonosfärstörningar. Dessa störningar i kombination med den svaga signalen kan ge problem. Kapaciteten är upp till 400 kbit/s men påverkas av hur många andra användare som nyttjar satelliten. INMARSAT används av handelssjöfarten världen över. Idag använder Försvarsmakten de

³⁹ Vid troposcatterförbindelser utnyttjar man att luften inte är riktig homogen utan att det finns ”bubblor” som ger en svag spridning av signalen. Genom att rikta sändare och mottagare mot samma volym kan denna spridning nyttjas.

⁴⁰ Europeisk standard för digitalt sambandssystem för ”blåljusmyndigheter”. I Sverige kallas systemet som baseras på TETRA för RAKEL.

geostationära systemen till att ansluta utlandsmissioner till Försvarets IT infrastruktur med alla dess tjänster och till welfare-tjänster för personalen på missionerna.

Det finns även rent militära kommunikationssatelliter. Ett exempel är USA:s TACSAT/DAMA, ett UHF-baserat militärt kommunikationssystem för tal och data i låg takt. I dag har Sverige inte tillgång till detta system men utrustning finns på några plattformar, t.ex. HKP 16. Huruvida vi kan använda detta system är en politisk fråga som just i detta fall är av mindre intresse då TACSAT ändå inte har täckning i Arktis.

6.2.8.2 LEO-system

En enskild LEO⁴¹ satellit befinner sig bara en kort tid över det område som kan vara aktuellt för en mission. När LEO-satelliter används för kommunikation behövs därför många satelliter för att tillgängligheten inte ska bli låg. Kostnaden för LEO-baserade kommunikationssystem är hög samtidigt som marknaden för dessa är begränsad. IRIDIUM har överlevt tack vara stöttning från Pentagon. Det är därför inte troligt att något konkurrerande system till IRIDIUM kommer att finnas inom överskådlig framtid. För små datamängder, typ SMS, är ORBCOMM⁴² ett alternativ. På den militära sidan finns satelliter på UHF-bandet men dessa har Sverige inte tillgång till utom i speciella fall.

IRIDIUM består av 66 satelliter på polära banor vilket ger god täckning i Arktis. Det är ett L-band system vilket gör det känsligt för jonosfärstörningar. En IRIDIUM-satellit är i princip en flygande mobilbasstation som man kopplar upp sig mot och när den första satelliten passerat görs hand-over till nästa satellit. I dag tillhandahålls telefonsamtal och en begränsad datakanal i uppringd förbindelse. Tjänsten OpenPort ger IP-trafik med en nominell datahastighet på 128 kb/s. Ett förbättrat system, IRIDIUM NEXT, är på väg att skjutas upp och då blir datakapaciteten högre. Kostnaden när man använder IRIDIUM varierar. Så länge man ringer till en annan mobil är kostnaden ungefär den samma som att ringa till ett annat EU-land från Sverige. Ska man däremot ringa till det fasta telefonnätet blir kostnaden hög. I dag använder Försvarmakten IRIDIUM som komplement till HF för patrullerande enheter i ISAF och som backup till de geostationära satellitkommunikationssystemen.

6.2.8.3 HEO-system

Sovjetunionen placerade en serie kommunikationssatelliter i Molniyabanor med apogeum (den elliptiska banans bortre vändpunkt) över nordpolen och fick därmed kontinuerlig täckning på höga latituder. Idag har Ryssland de militära kommunikationssatelliterna Meridian i Molniyabanor. En begränsning är dock att satelliter i Molniyabana passerar van Allenbältena (strålningsbälten) vilket ställer krav på skydd av satelliten. En av USAs kritiska förmågor i Arktis är EPS (*Enhanced Polar System*) vilket är militära kommunikationssatelliter i starkt elliptiska banor för militär SATKOM-täckning på latituder över 65 grader.⁴³ Mer om Molniyabanor finns i 8.3.1.

Det utvecklas också två HEO⁴⁴ system vars huvudsyfte är meteorologiska studier av Arktis, men som också kommer att erbjuda bredbandstjänster. Den ena är det kanadensiska *Polar Communication and Weather (PCW) satellite system*, med två satelliter i Molniyabanor och den andra är den ryska Arktika, också den med två satelliter. Inom Europa har ESA tagit initiativ till att utveckla SATKOM med flygplan i Arktis inom ramen för *Single*

⁴¹ *Low Earth Orbit*

⁴² ORBCOMM är ett företag som erbjuder kommunikationstjänster maskin till maskin t.ex. för att följa lastbilar eller fartyg. Företaget har satelliter i LEO-banor.

⁴³ US DoD Arctic RoadMap eller Enhanced Polar System fact sheet,

www.losangeles.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=12672 (kontrollerad 2013-02-13).

⁴⁴ *Highly Elliptical Orbit*

*European Sky Air Traffic Management Research (SESAR) Programme*⁴⁵. Mer om samarbetsinitiativ inom rymdsektorn finns i avsnitt 8.5.2.

6.3 Sammanfattning och slutsatser

För VHF, UHF och mikrovågslänk skiljer sig inte vågutbredningen i Arktis från lägre latituder. Påverkan av ”rymdväder” på VLF är oklar. HF påverkas kraftigt och har en betydlig lägre tillgänglighet än vid lägre latituder. Satellitkommunikationssystem på UHF och L-band påverkas med försämrade prestanda som följd. Ku-band påverkas inte nämnvärt av jonosfärstörningar, men är känsligt för regn.

God täckning över hela Arktis är möjlig med VLF-LF. Tillgängligheten över tid är förväntat god. Sändning kräver en fast anläggning till hög kostnad, men sändaren behöver inte befinna sig i Arktis. Det handlar endast om att skicka meddelanden ut till mottagare i Arktis, med låg dataakt.

HF har tidvis god täckning över hela Arktis via rymdvåg medan markvåg kan överbrygga avstånd på upp till 300 km. Jonosfärstörningar ger begränsningar i tillgängligheten för rymdvåg. Genom att använda reläfunktion i exempelvis södra Sverige, kan många av störningarna undvikas eller begränsas. Kostnaden för utrustningen är relativt låg och några kostnader för samtal, data mm tillkommer inte. Bra HF antenner är dock skrymmande, vilket ger begränsningar på små plattformar. Dataakten är låg, men fungerar för tal, e-post och överföring av små filer.

Satellitkommunikation i Arktis har betydande begränsningar jämfört med exempelvis södra Sverige. Geostationära system, de som Försvarmaktens satellitkommunikation baseras på, har inte täckning över 80 breddgraden. Svaga signaler, begränsat utrymme för antenner och rullning medför ytterligare begränsningar för fartyg och dessa kommer att få problem även nedanför 80 breddgraden. LEO-systemet IRIDIUM, däremot, har täckning över hela Arktis. En modernisering, IRIDIUM NEXT, är på gång och kommer att ge förbättrad datakapacitet men den kommer att vara lägre än den som erbjuds av operatörerna för GEO-systemen. Tjänstebudet kommer därför att vara begränsat.

Sammantaget kan marinen i Arktis ha godtagbar sambandsförmåga för ledning med dagens radiosystem, men inte för vissa administrativa tjänster och welfare. Ibland kan förbindelsen försvinna några timmar och en anpassning krävs till detta. Med utbyggd SATKOM, med satelliter i banor lämpliga för höga latituder, förbättras tillgänglighet och datakapacitet.

⁴⁵ <http://earth.eo.esa.int/workshops/spaceandthearctic09/zeppenfeldt.pdf> (kontrollerad 2013-02-13).

7 Navigering och positionering i Arktis

Global Navigation Satellite System (GNSS) är idag den dominerande tekniken för navigering och positionering. GNSS är ett samlingsbegrepp för satellitnavigeringssystem som GPS, GLONASS och det framtida Galileo. Idag användas det amerikanska GPS till största delen. GPS används för ett stort antal tillämpningar från positionering och navigering av fordon, fartyg och flygplan, till tids- och frekvenssynkronisering inom styrsystem för industri⁴⁶ och infrastruktursystem som t.ex. kraftförsörjning och kommunikationssystem. Användningen är mycket omfattande och ökar kontinuerligt. Den framtida utvecklingen av mottagare går mot kombinerade mottagare som nyttjar flera system och frekvensband. Det finns redan mottagare för massmarknadstillämpningar som använder både GPS och GLONASS. På sikt, när Galileo blir operativt runt 2016-2018, förväntas kombinerade mottagare för GPS, GLONASS och Galileo användas, dvs. GNSS-mottagare.

7.1 Användning av GNSS i Arktis

För användare av GNSS är två parametrar viktiga, dels noggrannheten för position och tid och dels tillgängligheten. Med tillgänglighet avses att mottagaren kan bestämma dess position och tid. Både noggrannheten och tillgängligheten kommer att påverkas vid användning i Arktisområdet (se t.ex. Jensen och Sicard (2009), Rinnan (2010) samt Jensen och Sicard (2010)). Kraven på noggrannhet och tillgänglighet varierar beroende på vilken förmåga GNSS systemet ska stödja och skiljer stort om det exempelvis handlar om navigering på öppet hav jämfört med en inmätning av en rörledning.

En GPS-mottagare behöver minst kunna använda fyra GPS-satellit signaler (initialt) för att kunna bestämma positionen. Ökar antalet tillgängliga GNSS-signaler kommer positionsnoggrannheten att förbättras. Ett sätt att ange hur antalet tillgängliga satelliter och deras geometri påverkar positionsnoggrannheten är DOP-värdet (*Dilution Of Precision*).

Ett högt DOP värde medför sämre positionsnoggrannhet på grund av få tillgängliga satelliter och dålig geometri. DOP-värdena kommer att öka på högre breddgrader på grund av satellitbanornas inklination. För GPS är inklinationen 55 grader vilket medför att satelliterna vänder söderut i höjd med Lund. På grund av satelliternas höga omloppsbanor är de emellertid synliga för en mottagare även på nordliga bredgrader, dock försämras geometrin.

7.2 Systembeskrivning GNSS

Samtliga GNSS bygger på samma grundteknik med MEO⁴⁷ satelliter i omloppsbanor runt jorden. Satelliterna sänder radiosignaler där GPS och Galileo använder samma frekvensband⁴⁸ medan GLONASS⁴⁹ använder egna frekvensband. Mottagarna på jorden mäter avståndet upp till satelliterna genom att mäta på radiosignalen. Varje system och satellit har en unik kod modulerad på radiosignalen. Signalen utnyttjas för att estimeras avståndet mellan mottagaren och satelliten. Genom att mäta på minst tre till fyra satelliter (triangulering) kan mottagarens position bestämmas. GNSS delas upp i tre segment: Användarsegment (mottagare), rymdsegment (satelliter), kontrollsegment (monitorering och styrning av satelliterna). Antalet GNSS-mottagare är inte begränsat då de enbart är passiva, dvs. enbart tar emot den utsända satellitsignalen.

⁴⁶ Vanligt förekommande benämning är SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

⁴⁷ *Medium Earth Orbit*

⁴⁸ 1,57542 GHz (L1), 1,2276 GHz (L2), 1176,45 MHz (L5)

⁴⁹ 1,602 GHz och 1,246 GHz

Trenden är att utveckla och erbjuda kombinerade GNSS-mottagare, både från systemägarna som anpassar systemen mot varandra (harmonisering) och från industrin som utvecklar själva mottagarna (chip). För lantmåteritillämpningar har kombinerade GPS- och GLONASS-mottagare använts under en längre tid men dessa är dyra. Det finns idag så kallade massmarknadsmottagare (låg kostnad) som använder GPS och GLONASS och de första kommersiella produkterna finns tillgängliga (smarta mobiltelefoner och handhållna navigatörer).

GPS/GNSS-mottagare kan delas upp i två typer/kategorier med avseende på hur de fungerar och används. Avståndet mellan mottagare och satellit kan bestämmas på två sätt. Normalt använder mottagaren den så kallade navigationskoden (PRN-kod) som är modulerad på radiosignalen för att uppskatta avståndet till satelliten. Ett alternativ är att mottagaren direkt mäter på bärvågen. Fördelen med det senare tillvägagångssättet är att noggrannheten blir betydligt högre, men nackdelen är att det är känsligare för störningar. Denna typ av mottagare används framförallt för lantmåteritillämpningar.

7.2.1 GPS

GPS är fullt operativt sedan 1994 och genomgår ett omfattande moderniseringsprogram där nya satelliter introduceras med flera civila signaler på tre frekvensband (L1, L2 och L5). Att nyttja signaler på flera frekvensband innebär att påverkan av jonosfären kan uppskattas och därefter kompenseras för. Idag finns det en civil signal, benämnd C/A, på L1 frekvensbandet och ytterligare en civil signal är under införande på L2 frekvensbandet som benämns L2C. Idag är inte L2C operativt utan planeras vara detta till 2016. För militärt bruk finns krypterade signaler, benämnda P(Y), på både L1 och L2, vilket medför att militära två frekvensmottagare kan estimeras jonosfärpåverkan och kompensera för den.

7.2.2 GLONASS

GLONASS är den ryska motsvarigheten till GPS. GLONASS byggdes upp i början av 90-talet och blev fullt operativt under 1996. På grund av den ekonomiska krisen i Ryssland under 90-talet och början av 00-talet eftersattes finansieringen för driften av GLONASS. Satelliter som havererade ersattes inte vilket medförde att GLONASS inte var fullt operativt. Under denna period var livslängden för GLONASS-satelliterna begränsad (3 månader till 3 år). Satelliterna hade, och har fortfarande, lägre prestanda jämfört med GPS-satelliterna vilket medför sämre noggrannhet om enbart GLONASS används. Idag genomgår GLONASS ett stort moderniseringsprogram där nya satelliter med flera öppna signaler införs på flera frekvensband där avsikten är att på sikt använda samma frekvensband som GPS och Galileo. GLONASS är åter fullt operativt sedan 2011. Inklinationen för GLONASS (65°) ligger betydligt högre jämfört med GPS (55°) och Galileo (56°). Detta innebär att GLONASS-satelliternas omloppsbanors vändpunkt ligger högre jämfört med GPS och Galileo och är mer anpassad för användning i Arktis. Dock har idag GLONASS färre operativa satelliter (24 st) jämfört med GPS (31 st).

7.2.3 Galileo

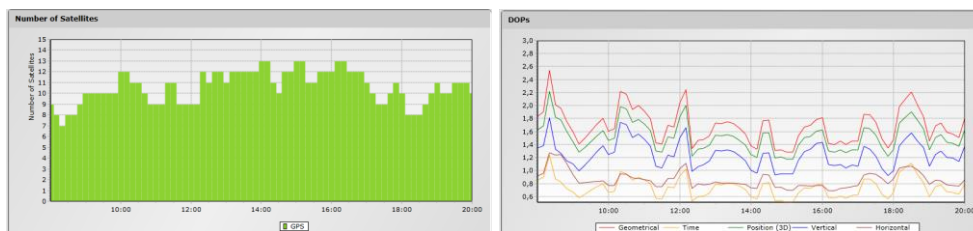
Galileo är det europeiska GNSS-systemet som är under uppbyggnad. De fyra första satelliterna är redan utplacerade. Fullt utbyggt kommer Galileo att bestå av 30 satelliter (27 operativa samt 3 i reserv). Enligt nuvarande tidsplan och finansiering fram till 2016 kommer det då att finnas 26 operativa satelliter, vilket innebär att Galileo-systemet självständigt kommer att erbjuda global täckning. Galileo kommer att erbjuda fyra navigeringstjänster:

- Open Service (OS)
- Search and Rescue (SAR)
- Public Regulated Service (PRS)
- Commercial Service

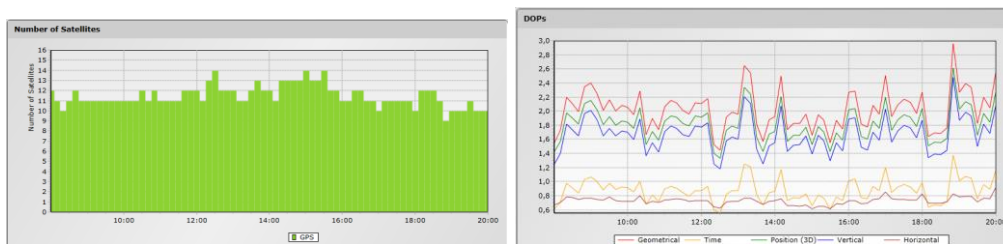
7.3 Faktorer som påverkar noggrannhet och tillgänglighet

7.3.1 Effekter på geometrin

För att illustrera hur högre breddgrader påverkar noggrannheten genom att geometrin försämras och antalet tillgängliga satelliter minskar har två platser valts, Revingehed skjutfält, vilken används som referens och en plats i Arktis norr om Svalbard och öster om Grönland. För dessa platser har DOP-värdena och antalet tillgängliga satelliter bestämts med hjälp av ett GNSS predikeringsverktyg⁵⁰, se Figur 26 - Figur 27, där den vänstra bilden i figurerna visar antalet tillgängliga satelliter som ett stapeldiagram och den högra bilden visar DOP-värdena över 12 timmar för respektive plats.



Figur 26: DOP-värden och antal tillgängliga satelliter för Revinge skjutfält [N55,7095° E13,4489°].



Figur 27: DOP-värden och antal tillgängliga satelliter för plats i Arktis [N85,0139° E20,3245°]. Bild: FOI.

Skillnaderna i DOP-värden mellan platserna är små och antalet tillgängliga satelliter är högt i båda fall. För Arktis ökar till och med antalet tillgängliga satelliter på grund av att satelliter från båda sidorna av jorden är synliga (Rinnan 2010). En möjlighet att öka noggrannheten och sänka DOP-värdena är att använda en kombinerad GPS/GLONASS mottagare. Resultat för detta fall finns i Figur 28, där det framgår att med en kombinerad GPS/GLONASS mottagare kommer kontinuerligt 18 - 20 satelliter att kunna användas vilket medför att DOP-värdena är mycket låga.



Figur 28: DOP-värden och antal tillgängliga satelliter för en kombinerad GPS och GLONASS mottagare för Arktis [N 85,0139° E 20,3245°]. I övre bilden är grönt GPS och rött kombinerat GPS/GLONASS. Bild: FOI.

⁵⁰ GNSS planning online från Trimble har använts, se <http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline/#/Settings> (kontrollerad 2013-02-13).

7.3.2 Rymdväderspåverkan på GNSS

Påverkan av rymdväder på GNSS är den största felkällan för Arktis området. På grund av att GNSS-satelliterna står lågt över horisonten kommer radiosignalerna att färdas en lång sträcka genom jonosfären och troposfären. Tre olika effekter påverkar GNSS-signalerna vilket medför att noggrannheten och tillgängligheten försämras (Fisher (2011), Kintner (2008), Dare och Ghoddousi-Fard (2011), El-Arini et al. (2009) samt Comberiate et al. (2012)),

1. TEC⁵¹-inducerade signalfördröjningar i jonosfären, vilket medför förändring av hastighet och riktning av GNSS-signalen.
2. Scintillation, dvs. dämpning av GNSS-signalen (minskad signalnivå) vilket medför att noggrannheten försämras alternativt att mottagaren överhuvudtaget inte kan använda signalen.
3. Solar Radio Noise, vilket resulterar i att bakgrundsbruset i GPS/GNSS frekvensbanden ökar.

Jonosfäreffekten drivs av solens aktivitet och följer därmed den 11-åriga solcykeln för solfläckar som nu går mot ett nytt förväntat maxima under 2013-2014. Det kommer att medföra ökande aktivitet och större påverkan på GNSS-signalerna. I Arktis-området kännetecknas jonosfären av stor variation med avseende på elektrontätheten där norrsken är ett tydligt exempel på rymdväder (se även avsnitt 6.1.3).

Vid den magnetiska ekvatorn är fältet parallellt med jordytan, dvs. inga krafter håller elektronerna på plats och de kan lätt vandra uppåt och skingras vilket sker när solen går ner. Detta medför att det uppstår virvlar av elektroner vilket i sin tur ger upphov till scintillationen (dvs. förändring i amplitud och fas). Scintillationen påverkar GNSS-signaler kraftigt, främst genom dämpning av signalen, men även även genom att fasen förskjuts, vilket försämrar möjligheten att använda fasmätande GPS/GNSS-mottagare. Scintillation är mest frekvent förekommande kring ekvatorn och i Arktis-området.

I Arktis är fysiken bakom fenomenet annorlunda jämfört med situationen vid ekvatorn. Här handlar det om fluktuationer i elektrontätheten orsakat av infall av högenergipartiklar från solen, samma fysik som skapar norrsken. Scintillationen påverkar inte hela himlen samtidigt utan bara begränsade områden där radiosignaler påverkas och dämpas. Detta innebär att enbart de GNSS-signaler som passerar igenom dessa områden påverkas medan övriga GNSS-signaler förblir opåverkade. Detta medför en viss försämring av noggrannheten för en GNSS-mottagare men så länge det finns opåverkade GNSS-signaler erhålls en relativt korrekt position.

Effekterna på positionsnoggrannheten är under normala förutsättningar relativt små och begränsade med ett fel i storleksordning av några meter. Med en kvalificerad GNSS-mottagare som tar emot både GPS- och GLONASS-signaler på flera frekvenser och som korregerar för variationer i satelliternas banor och deras klockfel kan mycket hög noggrannhet erhållas.

7.3.3 Isbeläggning på antenn

På fartyg kan man inte bortse från problemet med isbeläggning på antenner. Ett lager på drygt en centimeter blöt is dämpar GPS-signaler ca 3 dB och kan öka positionsfelet någon meter (Rinnan 2010). Torr snö har troligen ingen nämnvärd inverkan.

⁵¹ TEC, *Total Electron Content*.

7.4 Stödsystem till GNSS

Det finns flera typer av stödsystem till GNSS som används för att öka noggrannheten och då framförallt genom att minimera effekterna från rymdväder (Jensen et al. (2009), Kintner (2008), Dare och Ghoddousi-Fard (2011) samt Rinnan (2010)). Det finns både landbaserade och satellitbaserade stödsystem. Stödsystem använder referensstationer för att beräkna korrektioner som därefter distribueras till användarna/mottagarna vanligtvis via radiosystem. Satellitbaserade stödsystemen som EGNOS⁵² och WAAS⁵³ baseras på GEO-stationära satelliter vilket medför att de är knappt synliga över horisonten i Arktis (se även avsnitten 6.2.8.1 och 8.3.1). Huvudsyftet med dessa stödsystem är att användas för flygtillämpningar. EGNOS har referensstationer både på Tromsö och på Svalbard, men täckningen, både vad avser radiotäckning och för vilket område korrektionerna är korrekta, är mycket begränsad i Arktis.

För kommersiell sjöfart används DGPS (IALA)⁵⁴ för att förmedla korrektionsdata till mottagarna. I Sverige driver Sjöfartsverket ett nationellt DGPS system med täckning för svenska farvatten. Att använda DGPS-certifierade mottagare är krav från IMO och EU för kommersiell sjöfart (klassade fartyg), men inom Arktis området finns det inget DGPS.

7.5 Automatic Identification System (AIS)

Automatic Identification System (AIS) är system för automatisk rapportering och uppföljning av sjöfart. AIS har kort räckvidd och fungerar dåligt i Arktis där det är långt till basstationer. Detta illustreras i Figur 29, där en mängd fartyg syns från satellit som inte rapporterar i AIS-systemet. Detta påverkar Försvarsmakten vid en eventuell operation i det norra närområdet, genom att satellitstöttning kommer att behövas för att etablera RMP.



Figur 29: Bild på fartygsrörelser från AIS den 2010-07-12. Blå punkter är fartyg vars positioner som rapporterats via AIS basstationer placerade i kustbandet, gula och orange punkter är fartyg vars positioner är rapporterad via AIS övervakningssatelliter. Bild från Hannevik och Skauen (2011).

⁵² EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) är det europeiska systemet.

⁵³ WAAS (*Wide Area Augmentation System*) är det amerikanska systemet.

⁵⁴ IALA, *International Association of Marine Aids*. Differentiell GPS (DGPS) förmedlar aktuellt positionsfel hos referensstationer.

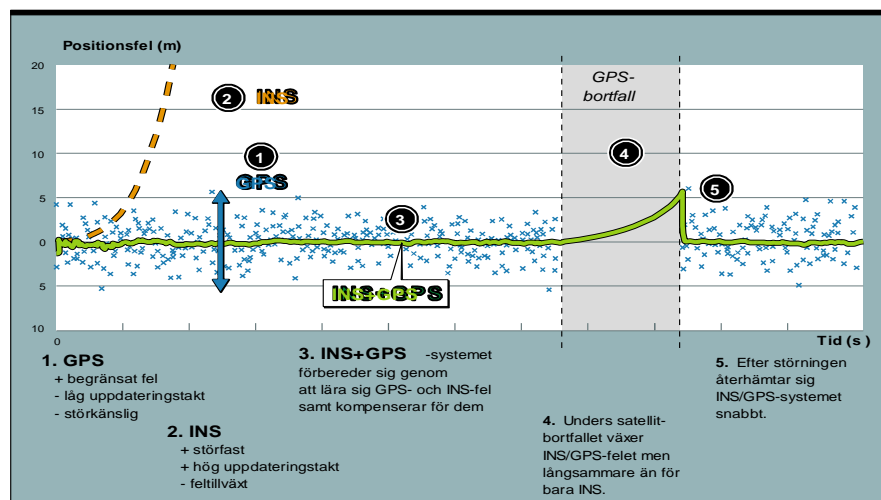
7.6 Alternativa/komplementerande system till GNSS

7.6.1 Tröghetsnavigering

Ett tröghetsnavigeringssystem (TNS)⁵⁵ består i princip av en sensorenhet (*Inertial Measurement Unit*, IMU) och en navigeringsdator där sensorenheten innehåller tre accelerometrar och tre gyron som mäter acceleration respektive vinkelhastighet i tre dimensioner. Navigeringsdatorn utför beräkningarna för att transformera sensorsignalerna till position, hastighet och attityd. Detta kräver att startpunkten för TNS är känd. Utan startpunkt kan positionen inte bestämmas men relativ förflyttning erhålls.

I Error! Reference source not found. visas hur information från en IMU används tillsammans med navigeringsekvationerna för att integrera fram en lösning (dvs. position, hastighet och attityd).

Ett TNS är ett självständigt störfast system som inte behöver några externa mätningar, åtminstone inte under en begränsad tidsperiod. Felet för TNS kommer att växa med tiden, och beroende på sensorenhetens prestanda växer felet olika fort. I princip är kostnaden för TNS proportionell mot dess prestanda. Militärt har TNS använts under en längre period på ett stort antal plattformar såsom flygplan, ubåtar, fartyg, mm. Utvecklingen av TNS är idag omfattande och integreras med GPS. Integration av GPS och TN har stora fördelar, då de har kompletterande egenskaper, se Figur 30. Skulle GPS falla bort, t.ex. på grund av rymdväder eller störning, kommer TNS att estimera positionen.



Figur 30: GPS-mätfel (blå kryss) är begränsade och ökar inte med tiden. TNS-mätfel (streckad orange kurva) däremot ökar obegränsat med tiden. Det integrerade systemets fel, GPS/TNS-felet (grön heldragen kurva) är begränsat och mindre än GPS-mätfelen. Bild: FOI.

7.6.2 LORAN

LORAN-C (*LOng Range Navigation*) är ett radionavigeringssystem med markbaserade sändarstationer i frekvensbandet 90 - 110 kHz. Sändarstationerna är organiserade i ett antal nationella kedjor. Användningen av LORAN-C är idag relativt begränsad och ett antal sändarstationer har lagts ner. En moderniserad version som benämns E-LORAN (Enhanced) har utvecklats med hög noggrannhet, dvs. med en noggrannhet om ca 8 meter. E-LORAN har föreslagits att användas integrerat med GPS för att erhålla ett back-up system om GPS inte är tillgängligt. Storbritannien har genom General Lighthouse Authorities (GLA) börjat bygga upp ett E-LORAN system.

⁵⁵ På engelska *Inertial Navigation System* - INS

Det finns för närvarande nio operativa LORAN sändare i nordvästra Europa. Täckning i Östeuropa tillhandahålls av en kedja som hör till det ryska systemet Chayka. Chayka sänder en signal som är kompatibel med LORAN. Det finns idag inga LORAN-sändare på latituder över 70 grader.

7.7 Sammanfattning och slutsatser

GNSS (kodmätande mottagare) fungerar tillfredsställande för navigering och positionering även i Arktisområdet men kan under perioder påverkas negativt av rymdväder. För de flesta navigationstillämpningar har den felvisning som uppstår under dessa perioder ingen större praktisk betydelse. För mottagare som används för att erhålla särskilt god noggrannhet (bärvågsmätande) är användningen generellt mer påverkad och periodvis är det inte möjligt att erhålla en fixlösning, dvs. en position. Mottagare som använder multipla frekvensband är robustare mot påverkan från rymdväder, t.ex. en kombinerad GPS/GLONASS mottagare som använder två frekvensband. GPS kommer från 2016 att erbjuda civila signaler på två frekvensband. Militära GPS-mottagare använder den krypterade signalen P(Y) som finns på L1 och L2 frekvensbanden.

Militär GPS är under införande i svenska marinen och bör ge en robust positionslösning även under situationer där civil GPS är blockerad. För uppdrag med särskilt höga krav på positionsnoggrannhet kan en kombinerad GPS/GLONASS mottagare övervägas.

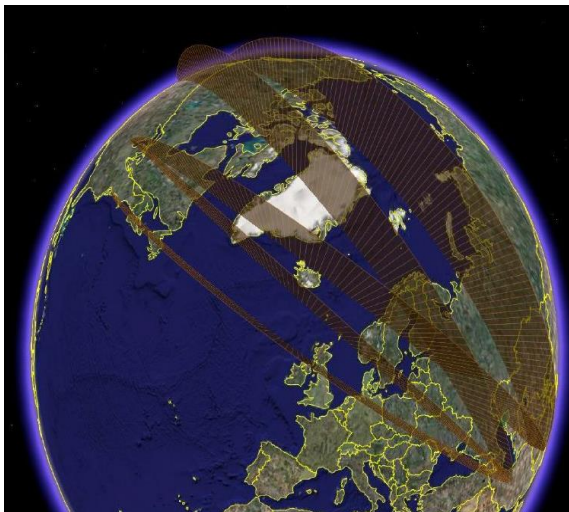
8 Rymdaspekter på Arktis

8.1 Arktis – en spelplan för rymdmakter

Från ett rymdperspektiv har Arktis sedan länge varit ett strategiskt sett viktigt område. Arktis och det större området runt nordpolen var, vid sidan av Centraleuropa, ett troligt konfliktområde vid en konfrontation mellan stormakterna. Under kalla kriget byggde därför de båda stormakterna Sovjetunionen och USA upp militära anläggningar och baser runt Arktis i syfte att stärka sin robotbaserade kärnvapenförmåga. På samma grund startade utvecklingen av rymdsystem för att övervaka motståndarsidan och i syfte att förhindra en eventuell kärnvapenattack.

Dessa anläggningar finns alltså kvar i Arktis och utvecklas fortfarande. Radar-anläggningarna i Thule på Grönland samt Clear i Alaska är exempel på det amerikanska *Early-Warning*-systemet för upptäckt av inkommande ballistiska kärnvapenrobotar och för inmätning av satelliter. Ryska Norra flottans ubåtsbaseringar, i till exempel Severomorsk i Murmansk oblast, förfogar över en stor del av Rysslands andraslagsförmåga i form av SLBM⁵⁶-system och anses vara av vitalt intresse för landets säkerhet. Förutom stormakternas baser och anläggningar i Arktis är dessutom polarisen i sig en del i försvaret av dessa ubåtsbaserade ballistiska robotsystem då istäcket tillsammans med havsvattnet skapar en barriär som försvårar upptäkten av ubåtarnas rörelser från rymden.

Sveriges geografiska läge innebär att vi även kan komma att beröras av konflikter och planer där de militära fördelarna med Arktis utnyttjas. Ett aktuellt exempel är dispyten mellan USA/Nato och Ryssland avseende utbyggnaden av robotförsvaret (BMD). I ett hypotetiskt fall med en ballistisk robotattack över Arktis kan Sveriges ”rymdrum” komma att beröras (se Figur 31).⁵⁷



Figur 31: Exempel på banor för ballistiska robotar från Iran med mål i USA som utnyttjar kortaste vägen över Arktis och därmed även över Norden. Bild: FOI.

Ytterligare en anledning till intresset för Arktis är det faktum att satelliter i låg och medelhög omloppsbana ofta passerar över eller nära polerna. Inte minst banspåren för de strategiskt viktiga övervakningssatelliterna, som bland annat används för bild- och signalspaning, konvergerar över polerna (se Figur 32). Det stora antalet överflygningar är anledningen till både det civila och militära intresset för att etablera stationer för datamottagning och satellitstyrning, samt för att bygga inmätningssystem för

⁵⁶ *Submarine-Launched Ballistic Missile, SLBM*

⁵⁷ Se bl.a. Lennartsson och Lindvall (2011).

satelliter i Arktisområdet. I Norge, på Alaska-halvön samt i Sverige finns därför denna typ av anläggningar. Radaranläggningen Globus II⁵⁸ i norra Norge på Vardö är ett exempel på en installation som kan följa och avbilda satelliter och rymdskräp ut till geostationär bana eller längre (se Figur 32).



Figur 32: Till vänster banspårerna från omloppsbanorna hos ett antal övervakningssatelliter i polära LEO banor. Bild: FOI. Till höger radarkupolen till Globus II radarn på Vardö. Bild: U.S. Air Force⁵⁹.

Arktis utgör således både genom sitt geopolitiska läge mellan stormakterna och på grund av sin extrema natur på ”toppen av globen” en viktig spelplan för olika militära rymdmakter. Samtidigt innebär de yttre förhållandena vid polernas jonosfär och stratosfär i form av exceptionella magnetiska omgivningar och strålningsmiljöer också stora utmaningar för de rymdtjänster som erbjuds (se även avsnitt 6.1.3 och 7.3.2).

8.2 Rymdtjänster i Arktis

De rymdtjänster som krävs för att skapa de militära förmågorna som diskuteras nedan brukar delas in i fyra funktionella grupper; *Support Function*, *Force Enhancement*, *Force Application*, och *Space Control*. *Support function* består av system och anläggningar som stödjer satellitsystemen och är ofta markbaserade. *Force Enhancement* är sådana tjänster som använder rymdsystem och satelliter för att skapa rymdbaserade förmågor som i sin tur stödjer och förbättrar militära förbands förmåga på land, till sjöss och i luften. Navigeringssystemet GPS är ett typexempel på en sådan tjänst. Denna förmågeökning diskuteras mer i detalj nedan. *Force Application* brukar även kallas rymdvapen och kommer troligen även framöver att begränsas av internationella avtal och regelverk. Begreppet *Space Control* eller med ett annat ord rymdlägesbild berörs till viss del i texten nedan.

Den tekniska och operativa mognadsgraden avseende rymdtjänster hos de nationer som gränsar till Arktis får anses som relativt hög. Med andra ord så besitter samtliga länder en nationell förmåga att utveckla satelliter och dess delsystem⁶⁰. Länderna har också en nationell kompetens för att använda rymdsystemen och -tjänsterna på ett integrerat sätt i sina ledningssystem och på ett operativt sätt som kan kallas Force Enhancement. Norge har exempelvis i sin långtidsplan för rymden speciellt pekat på Arktis som ett strategiskt viktigt område, där rymdtjänster är avgörande både för dess övervakning och som en tillgång för internationellt inflytande⁶¹.

Arktis får alltså betraktas som ett område som har en hög potential för att kunna förvaltas, skyddas och utvecklas på ett effektivt sätt med hjälp av rymdtjänster. Samtidigt fungerar dessa rymdtjänster idag inte helt tillfredställande beroende på områdets särart, med

⁵⁸ Globus II är en X-bands radar (AN/FPS-129) med en mekanisk parabol på 27 m dedicerad för det amerikanska *Space Surveillance Network* (SSN).

⁵⁹ Bild från <http://www.wpafb.af.mil/shared/media/photodb/photos/080603-F-1025B-011.jpg> (kontrollerad 2013-02-13).

⁶⁰ Norges första egenkonstruerade satellit AISSat-1 sköts upp 2010.

⁶¹ Inom ramen för Norges så kallade ”*Norsk nordområdesstrategi*”.

avseende på jonosfäriska störningsförhållande (se även avsnitt 6.1.3) och det geospatiala läget vilket ger dåliga vinkelförhållanden mot geostationära satelliter (se även avsnitt 6.2.8.1).

8.3 Nyttan och begränsningar hos de satellitbaserade rymdförmågorna

Utplacering av system i rymden ger generellt sett global åtkomst av stora områden både av mark och av hav. Rymdsystem ger också snabb kommunikation över långa avstånd. Till skillnad från flyg så kan satelliter genomföra icke-kränkande överflygningar över främmande territorier. Ur såväl ett strategiskt som taktiskt perspektiv ger rymdbaserade system möjligheter till god överblick och samtidigt detaljerad insyn⁶². De rymdrelaterade tjänsterna som är av militärt intresse inkluderar framförallt:

- kommunikation (SATKOM) som komplement eller ersättning till traditionell markbaserad kommunikation
- underrättelse, övervakning och spaning (ISR⁶³) med såväl optiska som radarbaserade sensorer
- positionering, navigering och tidssynkronisering (PNT) med global och kontinuerlig åtkomst
- vädertjänster
- *Early Warning*-satelliter för tidig upptäckt av ballistiska missiler

De stränga förhållandena i Arktisområdet med ett hårt klimat, närheten till den magnetiska polen, de stora avstånden och avsaknad av infrastruktur försvårar såväl tillgängligheten till regionen som begränsar den regionala lägesbilden. Därtill bidrar idag även faktorer som ökad sjöfart, en allt intensivare konkurrens om naturtillgångarna och territoriella dispyter till den arktiska scenen. Satellittjänster som ISR, navigation och samband utgör därför ett viktigt bidrag i framtagandet av en aktuell arktisk lägesbild.

De arktiska förhållandena begränsar till del vissa satellittjänster och innebär därför ett förmågegap i förhållande till situationen i exempelvis Sverige. I synnerhet är det jonosfäriska och geometriska effekter som kan begränsa nyttjandet av satellittjänsterna. Såväl tillgänglighet till som kvaliteten på rymdtjänster i Arktis påverkas.

8.3.1 Omloppsbanor och Arktis

GEO eller geostationära banor⁶⁴ är placerade parallellt med ekvatorn (med inklinationen 0 grader, se Figur 33) på en höjd av ca 36 000 km (se även avsnitt 6.2.8.1). En satellit i en sådan bana, ser ut att stå stilla på himlen, sett från jorden. Detta innebär att tillgängligheten till vissa satellittjänster är låg om man befinner sig långt från ekvatorn vid höga latituder: GEO-satelliter ligger ”under horisonten” för latituder över 81 grader. Många SATKOM-system är placerade i GEO och täcker därför inte polerna, exempelvis INMARSATs kommunikationssatelliter.

LEO eller låga banor kan vara från ca 160 km upp till 1 000 km höjd och ha vilken inklination som helst (se även avsnitt 6.2.8.2). Omloppstiden för en satellit i låga banor är ca 90 minuter. En satellit i en polär låg bana har inklinationen 90 grader och passerar därför rakt över polerna. Iridiumkonstellationen består av 66 satelliter i polära låga banor och har global SATKOM-täckning vilket ger möjlighet till satellittelefoni i Arktis.

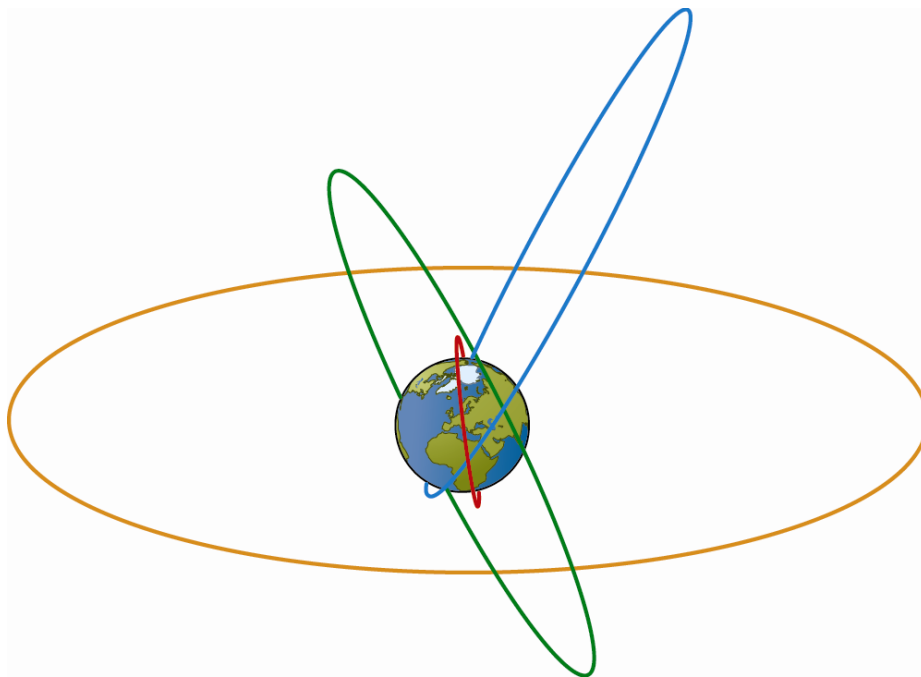
⁶² Se exempelvis Clausewitz resonemang om ”Att behärska höjd”, dvs. kap 18 i femte boken i *Om kriget* (Clausewitz, 1991).

⁶³ Intelligence, Surveillance and Reconnaissance

⁶⁴ GEO -Geostationary Earth Orbit

Medelhöga banor, MEO, ligger mellan geostationära och låga banor på ca 20 000 km höjd (se även kapitel 7). Dessa används framförallt till de globala navigationssatellitssystemen GPS⁶⁵, GLONASS⁶⁶ och Galileo. Systemen GPS och Galileo nyttjar banor som är inklinerade 55-56 grader och ger därmed inga signaler i zenitriktning för en användare i Arktis. GLONASS-satelliternas banor har inklinationen 65 grader vilket ger något bättre förutsättningar för satellitpositionering vid höga latituder. Användare av satellitbaserad navigation har i Arktis inte tillgång till SBAS (*Satellite Based Augmentation Systems*) då dessa system är placerade i geostationära banor.

HEO är kraftigt elliptiska eller excentriska banor. Ett exempel på sådana är Molniya-banor, där närmaste avstånd till jorden (perigeum) är på 1500 km höjd och det längsta avståndet till jorden (apogeum) ligger utanför GEO-banan (~36 000 km) (se även 6.2.8.3 för mer om HEO).



Figur 33: De olika typerna av satellitbanor kring jorden visade skalenlig. GEO-banan (orange), MEO-banan (grön), Molniya-banan (blå) och LEO-bana (rött). Bild: FOI.

Samband begränsas då radiosignaler på höga latituder degraderas av magnetfält. Idag finns det få kommunikationssatelliter med hög datahastighet, dock finns det kommersiella kommunikationssatelliter med långsammare dataöverföring som kan användas i Arktis. I en rapport från ESA identifieras ett tydligt förmågegap gällande kommunikation i Arktis – behovet av bredband år 2020 kan vida överstiga 100 Mbps.⁶⁷ Jonosfäriska effekter (orsakad av solvinden) begränsar även satellitbaserad positionering och ger lägre positionerings-noggrannhet (se även 7.3.2). Framtida förbättringar av satellitbaserad navigation inkluderar multipla frekvenser för GPS och Galileo vilket kan ge mer data till positioneringsalgoritmerna och därmed öka den allmänna prestandan (se t.ex. Jensen och Sicard (2010) samt avsnitt 7.2). ESA har inom programmet EGEP⁶⁸ (*The European GNSS Evolution Programme*) från 2010 ett projekt kallat *Arctic Testbed* med syftet att testa olika åtgärder för att förbättra satellitbaserad navigation i Arktis.

⁶⁵ NAVSTAR GPS; NAVigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System

⁶⁶ GLObalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema

⁶⁷ Se s. 18 i eeas.europa.eu/arctic_region/docs/swd_2012_183.pdf (kontrollerad 2012-10-04).

⁶⁸ Se www.esa.int/esaMI/GNSS_Evolution/index.html (kontrollerad 2012-10-04).

8.4 Försvarsmakten och rymdförmågor i Arktis

Arktis är för Försvarsmakten en relativt ny och samtidigt isolerad terräng att operera i. Arktis har dessutom i allt väsentligt brist på utvecklad egen infrastruktur. Olika rymdrelaterade förmågor i form av satellitbaserad kommunikation, navigering och monitorering kan därför komma att bli avgörande för effekten och säkerheten i de framtida arktiska operationerna. För monitorering och bildunderrättelser köper idag Försvarsmakten bilder från kommersiella satellitoperatörer. Likaså nyttjas vanligen kommersiell satellitkommunikation för samband till/från Sverige och inom insatsområden, vilket blir svårt då dessa satelliter har begränsad täckning i Arktis. Samband med omvärlden i welfare-syften är inte minst viktigt i en så isolerad miljö som Arktis. GPS och GLONASS fungerar i Arktis för navigering, dock med något försämrad noggrannhet och tillgänglighet för positionering. I dagsläget använder Försvarsmakten GPS (såväl civil som militär). Sannolikt kommer även Galileos tjänster (såsom OS och PRS⁶⁹, se även avsnitt 7.2.3) att användas i och med att framtida mottagare kommer att kunna ta emot signaler från flera satellitnavigationsystem, vilket ökar tillgängligheten och noggrannheten i Arktis.

Sammanfattningsvis har svenska Försvarsmakten möjlighet att till stor del förstärka och förbättra en operativ kapacitet med hjälp av de huvudsakliga satellitförmågorna PNT, SATKOM och ISR för att kunna agera effektivt i Arktis. Det finns exempelvis stora förbättringsmöjligheter för integrationen av rymdtjänster inom de existerande ledningssystemen.

8.4.1 Civil kapacitet

Civila Sverige har en väl utbyggd infrastruktur i form av markstationer som är strategiskt placerade för styrning av satelliter och nedtagning av data från Arktis. *Swedish Space Corporation* (SSC) äger bland andra de två nordliga markstationerna Esrange i Kiruna och Inuvik i Kanada, vilka lämpar sig väl för polära satelliter som passerar Arktis. Dessutom äger och driver SSC PioraNet som är det största markstationsnätverket i världen. Vid ett eventuellt operationellt samarbete med Norge, som har en liknande civil infrastruktur i Tromsø och på Svalbard, skulle markstationssegmentet för rymdförmågorna vara utomordentligt väl utbyggt.

8.5 Framtida möjligheter och val

8.5.1 Utgångspunkter

De två scenarierna i avsnitt 2.5 utgår från regionens utveckling på fem till tio års sikt. Samtidigt utgör solidaritetsförklaringen en utgångspunkt för svenskt agerande i scenarierna, vilket innebär att Sverige kan komma att samverka med Nato, EU och länder som Norge och Island.

Nytan och behovet av rymdrelaterade förmågor blir troligen varken större eller mindre oavsett vilket scenario som blir utfallet. Behovet av satellitbaserade rymdtjänster, och utvecklingen av speciella funktioner för arktiska förhållanden, är sannolikt mer avhängigt av aktiviteten i området. Under förutsättning att utvecklingen går mot en fredlig samexistens där territoriella och ekonomiska dispyter är lösta – scenario I – ökar sannolikt exploateringen av Arktis och därmed uppstår ett stort behov av satellitbaserad kommunikation och miljöövervakning. Om det tvärtom blir en utveckling mot nedfrysade relationer – scenario II – ökar istället de militära aktiviteterna, och behovet av satellitbaserad underrättelseinhämtning (IMINT, SIGINT) blir desto större. Scenario I skulle därför kunna bidra till en utökning av de civila rymdtjänsterna, medan scenario II bedöms bidra till ett ökat behov av den militära satellitbaserade rymdverksamheten.

⁶⁹ OS, Open Service, PRS, Public Regulated Service.

Vid en jämförelse av de policydokument som olika länder och organisationer har skrivit om Arktis (se Heininen (2011)) så berör samtliga - utom Sveriges och EU:s – antingen frågor om suveränitet eller nationella säkerhetsaspekter. Hos kuststaterna till Arktis är nationell säkerhet prioriterad och ett dominerande mål i policyskrivningarna. För svensk del saknas säkerhetsaspekter i den officiella argumentationen för en nationell rymdverksamhet. Om scenario II utfaller kommer Försvarsmakten därför att bli beroende av tillgången till andra länders rymdtjänster, en tillgång som i en kris eller ett skymningsläge ofta är en bristvara.

8.5.2 Samarbetsinitiativ och rymdförmågor

Då Sverige och Försvarsmakten inte har eller planerar egna dedikerade rymdsystem, som antingen är optimerade för Arktis eller som kan användas i området, återstår möjligheten till samarbete i olika former⁷⁰. Närmast till hands är redan utvecklade samarbeten inom EU, ESA, EDA och EUMETSAT samt eventuellt bi/multilateral samverkan. Nedan listas några exempel på de initiativ där Sverige redan är involverad i ett samarbete eller kan ha rimliga möjligheter att få delta.

- Galileo är ett globalt system för satellitnavigation med hög noggrannhet under uppbyggnad på uppdrag av EU och ESA. Systemet som är under civil kontroll är tänkt att ge en europeisk oberoende navigationsförmåga med bättre täckning än GPS på höga latituder.⁷¹, Vidare finns det europeiska systemet EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*). Detta rymdbaserade stödsystem rapporterar information om tillförlitligheten och noggrannheten på navigationsmeddelandet (se även avsnitt 7.4).
- Tillsammans med Galileo utgör GMES flaggskeppen inom EU:s rymdpolicy. GMES är EU:s jordobservationsprogram för europeisk miljö och säkerhet. En av de sex huvudtjänster GMES skall erbjuda är övervakning av den marina miljön. Projektet MyOcean 2⁷² syftar till att etablera pilotversionen av denna tjänst och nyttjar bland annat flera satelliter för att få information om havet (yttemperatur, isutbredning, havsnivå etc).
- Sverige via Rymdstyrelsen har sedan lång tid haft ett samarbete på den civila sidan med Frankrike avseende jordobservation med satelliterna SPOT⁷³ och Pleiades⁷⁴. Samarbetet har i allt väsentligt varit civilt, men skulle även kunna utökas till att omfatta den militära grenen i projektet. Detta steg kan då tas exempelvis via EDA:s initiativ MUSIS (*Multinational Space-based Imaging System*)⁷⁵.
- ESA:s satellitprogram CryoSat⁷⁶ mäter tjockleken på såväl landis (Antarktis och Grönland) som havsis (Arktis) och har maximerad täckning över polerna genom att satelliten är placerad i låg polär bana.
- ESA för en dialog med ryska rymdflugstyrelsen Roskosmos om samarbete kring det planerade ryska satellitsystemet Arktika.⁷⁷ Arktika-projektet skall bestå av satelliter placerade i HEO och har som syfte att övervaka miljö och väder,

⁷⁰ Denna slutsats att i första hand utgå från olika typer av samarbeten, sk ”pooling & sharing”, för att bygga rymdförmågor har argumenterats i ett flertal studier och utredningar inom Försvarsmakten.

⁷¹ http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/why/index_en.htm (kontrollerad 2012-12-05).

⁷² Se <http://www.gmes.info/pages-principales/services/marine-environment-monitoring/> (kontrollerad 2012-10-07).

⁷³ <http://www.snsb.se/en/Home/Space-Activities-in-Sweden/Remote-Sensing/> (kontrollerad 2012-11-29).

⁷⁴ <http://smc.cnes.fr/PLEIADES/> (kontrollerad 2012-11-29).

⁷⁵

http://www.fmv.se/Global/Dokument/Om%20FMV/Informationsmaterial/Kurser%20och%20f%C3%B6redrag/20120913_16_Rickard%20Nordenberg_MUSIS.pdf (kontrollerad 2012-11-29).

⁷⁶ Se <http://www.esa.int/SPECIALS/Cryosat/index.html> (kontrollerad 2012-10-07).

⁷⁷ Se http://eeas.europa.eu/arctic_region/docs/swd_2012_183.pdf (kontrollerad 2012-10-04).

lokalisera kolvätefyndigheter på den arktiska sockeln samt förbättra kommunikationen i den arktiska regionen.

- Sverige är medlem i den europeiska organisationen EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) vilken har satellitsystemet EPS⁷⁸ (*EUMETSAT Polar System*). EPS består av tre satelliter i polära banor och skall tillsammans med motsvarande amerikanska satelliter ge information till väderprognoser och klimatstudier.
- Det norska satellitprojektet AISSat-1⁷⁹ ägs av norska rymdstyrelsen och används av såväl FOI:s norska motsvarighet FFI (Forsvarets Forskningsinstitut) samt norska kustbevakningen. Satelliten AISSat-1 är optimerad för höga latituder och kartlägger fiske och marin trafik i den arktiska regionen.
- EDA (*European Defence Agency*) har tagit ett initiativ till att samordna inköpet av SATKOM-tjänster genom att skapa en så kallad upphandlingscell ESCPC (*European SatCom Procurement Cell*).

Sammanfattningsvis bedöms tillgången till satellitbaserad information/kommunikation eller internationella samverkansprojekt idag vara god när det gäller Arktis.

”Smörgåsbordet” är redan uppdukat av andra nationer och organisationer. För att kunna ta till vara de fördelar som rymdsystemen erbjuder, och som nära nog krävs för att kunna operera i detta område, är det snarare en fråga om att förstå, prioritera och agera utifrån de möjligheter som redan finns och framför allt med hänsyn till de utmaningar som kommer i framtiden.

8.5.3 Stoltenbergrapporten

På uppdrag av de nordiska utrikesministrarna lade Thorvald Stoltenberg i februari 2009 fram ett förslag på hur det nordiska samarbetet skulle kunna stärkas på utrikes- och säkerhetsområdet. Av de 13 konkreta förslagen som presenterades i hans rapport var punkt 5 fokuserat på rymdförmågor – ”Ett satellitsystem för övervakning och kommunikation”. Stoltenberg argumenterade i rapporten för att det enbart är satellitsystem som kan hantera uppgiften att övervaka och kommunicera med samtliga nordiska havsområden dygnet runt. Vidare hävdade han att alternativet till att ta fram ett gemensamt nordiskt satellitsystem var att respektive land fortsatte att köpa kommersiella tjänster från andra länder, en ekonomiskt sett sämre lösning.

Visserligen var förslaget tydligt inspirerat av de norska behoven enligt den så kallade ”Nordområdesstrategin”⁸⁰, men svenska myndigheter utnyttjade aldrig momentum i förslaget för att exempelvis starta en dialog med Norge varvid förslaget rann ut i sanden. Norge har nu etablerat ett samarbete för militär satellitkommunikation med Spanien, och satsar på egenutveckling av AIS⁸¹-satelliter för att övervaka marin trafik.

8.6 Sammanfattning och slutsatser

Accelererande klimatförändringar, ökande geostrategiska motsättningar och andra globaliseringstrender kommer att påverka Arktis och därmed Sverige. Oavsett vilket av de två scenarierna som ger den mest realistiska bilden av Arktis så kommer rymdrelaterade förmågor vara en avgörande faktor för att agera effektivt och säkert i området – såväl civilt som militärt. Utmaningarna för svenska Forsvarsmakten kommer att bli stora om en insats krävs i Arktis, oavsett om insatsen består av en mindre enskild räddningsoperation eller

⁷⁸ Se <http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/Metop/MissionOverview/index.htm?l=en> (kontrollerad 2012-10-07).

⁷⁹ Se http://www.ffi.no/no/Publikasjoner/Documents/AISSAT-1_Norways%20first%20observation%20satellite.pdf (kontrollerad 2012-10-07).

⁸⁰ Den tekniska delen av förslaget föreslog ett system med tre satelliter i högelliptiska banor (Molniya) med fokus på Arktisområdet.

⁸¹ AIS, *Automatic Identification System*

om solidaritetsförklaringen har utlösts. Att Sveriges och Finlands statsministrar ställde sig positiva till att övervaka det isländska luftrummet (air surveillance) vid det senaste Nordiska Ministerrådsmötet i Helsingfors är ett exempel på hur solidaritetsförklaringen gör att Försvarsmakten kan behöva uppträda i Arktis.⁸²

För att Försvarsmakten ska kunna ta till vara de möjligheter som rymdtjänster erbjuder rekommenderas följande:

- Öka förståelsen inom Försvarsmakten för rymdtjänster och de möjligheter tekniken erbjuder i form av ökad militär förmåga, samt för att öka kunskapen så att den hamnar i paritet med övriga länder runt Arktis.
- Delta i några prioriterade samarbetsprojekt inom rymdområdet för att bygga upp en praktisk erfarenhetsbas. Detta kan med fördel göras i samverkan med civila myndigheter som redan har erfarenheter från Arktis och rymdtjänster.
- Skapa en tydlig målbild och utveckla en klar policy för hur rymdtjänster ska användas som en kostnadseffektiv resurs inom Försvarsmakten och för en ökad militär förmåga på Arktis.

⁸² Se <http://www.norden.org/sv/aktuellt/nyheter/finland-och-sverige-nu-beredda-att-bevaka-islands-luftrum> (kontrollerad 2012-11-05).

9 Sammanfattande utblick

Intresset för Arktis har ökat markant de senaste åren, särskilt bland länderna i den arktiska regionen men även globalt. En central anledning är regionens rika naturresurser i kombination med det arktiska istäckets minskande utbredning, som skulle kunna möjliggöra en ökad tillgänglighet av naturresurser och öppna upp nya transportvägar.

Sammantaget innebär den skisserade utvecklingen som beskrivits i den här rapporten att Sveriges norra och nordvästra närområde förändras i kraft av framväxten av ett nytt Arktis. Det har uppmärksammats att avsmältningen av havsis och glaciärer sker fortare än vad man tidigare trodde skulle ske och även andra miljöförändringar har kunnat kopplas till den pågående klimatförändringen. Förändringar sker parallellt även på flera andra områden och rymmer både möjligheter och risker. Inte minst säkerhetspolitiskt är utvecklingen av intresse i ljuset av Sveriges 2009 avgivna solidaritetsdeklaration där, förutom EU:s medlemsländer, också Island och Norge nämns explicit samt Grönland implicit som del av ett nordiskt land. I ljuset av stark ekonomisk utveckling, militärstrategiskt ökande betydelse, ökande sjöfart och stora energiintressen som nu formerar sig, finns goda skäl att betydligt noggrannare än som tidigare varit påkallat uppmärksamma och analysera utvecklingen i Sveriges norra och nordvästra närområde. Vidareutveckling av långsiktiga svenska handlingslinjer samt stöd till den institutionella, folkrättsliga och säkerhetspolitiska utvecklingen i det framväxande nya Arktis framstår som en allt viktigare fråga för Sverige.

När det gäller de grundläggande frågorna kring Försvarets och i synnerhet marinens förmåga till operationer i det vi här kallat den nordatlantiska ellipsen har ett antal förutsättningar, bl.a. kommunikations- och sensorsystem, berörts i den här rapporten.

9.1 Slutsatser och implikationer för fortsatta studier

Två scenarier för den säkerhetspolitiska utvecklingen i den Nordatlantiska ellipsen (en del av Arktis närmast Sverige) har skisserats. Det ena innebär i korthet en positiv utveckling, där samförstånd råder och en hållbar utvinning av naturresurser sker. Det andra fallet är mer negativt, med större risker för konfrontation.

Hur utfallet än blir i regionen, kommer Sverige att behöva förhålla sig till och kunna agera i den nya verklighet som växer fram. Fortsatta analyser och överväganden kommer att behövas och utvecklingen i Arktis behöver bli en reguljär del av svensk säkerhetspolitisk analys och policyutveckling på ett tydligare sätt än hittills. Det innebär bl.a. att implikationer av möjliga utfall analyseras vidare med avseende på vilka typer av insatser samt vilka teknologier och system som då kan bli aktuella.

Marinens sensorer för spaning under vattnet och undervattensvapen påverkas alltid av havsmiljöns egenskaper vilka skiljer något mellan Östersjön och arktiska hav. Exempelvis är Barents hav djupare, saltare, kallare, blåsigare och uppvisar större våghöjder än Östersjön. De genomsnittliga ljudhastighetsprofilerna vi har studerat i Barents hav visar också på skillnader gentemot Östersjön. Våra mycket preliminära resonemang och beräkningar indikerar att räckvidderna för både aktiva och passiva sonarer i allmänhet blir mindre i Barents hav jämfört med Östersjön, även om undantag i tid och rum kan finnas lokalt. Den elektromagnetiska och kemiska miljön skiljer även den mellan Östersjön och Barents hav, vilket påverkar signaturnivåer och spaningsräckvidder, samt leder till behov av omkalibrering av fartygens magnetminskyddssonder.

Den viktigaste sensorn för ytspaning är radar eftersom den har lång räckvidd och ger en god lägesbild av fartygets omgivning under alla väderförhållanden. Dagens navigationsradar har dock otillräckliga prestanda mot mindre objekt, t.ex. små isberg, som kan ge stora skador på plattformar och utrustning. Därmed finns behov av att utveckla ett fartygsbaserat system för isbergsdetektion, särskilt för civil sjöfart. Ett sådant system skulle kunna bestå av en kombination av sensorer (radar, laser, IR och sonar) integrerade i

ett ledningssystem. Satellitradar utnyttjas ofta för storskalig iskartering. Framtida system bör vidareutvecklas med en kombination av hög upplösning, stor stråkbredd och uppdateringstakt för att möta framtidens behov.

Enligt vår bedömning kan marinen förväntas ha en godtagbar sambandsförmåga, om det i en nära framtid skulle bli aktuellt med övningar eller operationer där. Detta är dock sagt med visst förbehåll; problem kan förväntas med vissa administrativa tjänster och welfare. Ibland kan förbindelsen försvinna några timmar och en anpassning krävs till detta. Således måste hänsyn tas i planeringen till att vissa kanaler kan komma att påverkas negativt periodvis pga. rymdvädersituationen. Detta är ett område där det skulle vara värdefullt att utföra egna mätningar på plats. Med utbyggd SATKOM, med satelliter i banor lämpliga för höga latituder, förbättras tillgänglighet och datakapacitet.

Rymdvädet kan tidvis även påverka möjligheten till säker navigeringen och positionering vid arktiska operationer. Om enbart vanlig GPS är tillgänglig är dock denna påverkan av mindre praktiskt betydelse, men om behov finns av hög noggrannhet kan rymdvädet vara begränsande under viss perioder. Militär GPS är under införande i svenska marinen och bör ge en robust positionslösning även under situationer där civil GPS är blockerad. För uppdrag med särskilt höga krav på positionsnoggrannhet kan en kombinerad GPS/GLONASS mottagare övervägas. AIS har dålig användbarhet i Arktis, och satellitstöttning kommer att behövas för att kunna etablera RMP i Arktis. Även isbeläggning av antenner kan bli ett problem.

Den ökade tillgängligheten till Arktis innebär att Försvarsmakten mer noggrant behöver följa utvecklingen i Sveriges norra närområde. En ökad förståelse för den arktiska miljön och dess ekologi är också en förutsättning för att, i tid, kunna ta höjd vid materielanskaffning för att säkerställa att Sverige i framtiden kan bidra vid olika typer av operationer i området. Klimatförändringarna kan också komma att påverka design och utformning av de olika system som diskuteras i denna studie. Det finns även ett stort behov av att tidigt klara ut frågor rörande regelverk för att minimera störningar på den känsliga miljön som Arktis utgör. Detta är ett område där samverkan med universitet och högskolor, andra icke-statliga aktörer (näringsliv, urbefolkning samt ideella organisationer) och stater, inte minst de som redan har lång erfarenhet av att verka i Arktis, kan vara särskilt givande.

Oavsett vilket av de två scenarierna som ger den mest realistiska bilden av Arktis så kommer rymdrelaterade förmågor vara en avgörande faktor för att agera effektivt och säkert i området – såväl civilt som militärt. Utmaningarna för svenska Försvarsmakten kommer att bli stora om en insats krävs i Arktis, oavsett om insatsen består av en mindre enskild räddningsoperation eller om solidaritetsförklaringen har utlösts. Den snabba utvecklingen av rymdbaserade tjänster gör att Försvarsmakten skulle vara betjänt av att öka sin förståelse för både de tekniska och samarbetsmässiga förutsättningarna för rymdbaserade tjänster.

10 Referenser

ACIA, 2005, Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, New York, USA, <http://www.acia.uaf.edu>.

AMAP, 1997. *Polar Ecology in Arctic Pollution issues: A state of the Arctic Environment report*. Arctic Monitoring and Assessment program), Oslo, Norway, 1997.

AMAP, 2011. *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2011.

Christensen, J.H., et al., Regional Climate Projections, publicerad i Solomon, S., et al. (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

Claésson, H., et al., *Polarisationskurvor för metalliska marina konstruktionsmaterial*, FOI RH-1271--SE, 2012.

Claésson, H. och Krylstedt, P., *On the Environmental Impact on the UEP Signature of Submarines*, Proceedings of the seventh international conference on Marine Electromagnetics (MARELEC 2011), San Diego, USA, 2011.

Claésson, H., et al, *UEP källstyrkans miljöberoende*, FOI Memo H763, 2010.

Clausewitz, C., *Om kriget*, svensk översättning av H. Mårtensson, 1991.

Comberiate, J. et al., *Space Weather Effects on GPS Systems*, presentation vid 52nd Meeting of the Civil GPS Service Interface Committee, september 2012.
www.gps.gov/cgsic/meetings/2012/comberiate.pdf

Dare, P. och Ghoddousi-Fard, R., Assessment of atmospheric errors on GPS in the Arctic, Fibre Series, October 2011.
communities.rics.org/gf2.ti/f/200194/6015525/pdf/-/1012_GPS_In_Artic_PRINT.pdf

Darin Mattson, K. och Simonsson, L., *Arktis – ett framtida insatsområde?*, FOI-R--348--SE, 2012.

El-Arini, M.B., et al., *Ionospheric effects on GPS signals in the Arctic region using early GPS data from Thule, Greenland*, Radio Science, Vol. 44, RS0A05, 2009.

European Commission, *Space and the Arctic*, Joint Staff Working Document, SWD(2012) 183 final, 2012.
http://eeas.europa.eu/arctic_region/docs/swd_2012_183.pdf

Falkner, K.K., et al., *Dissolved oxygen extrema in the Arctic Ocean halocline from the North Pole to the Lincoln Sea*, Deep-Sea Research, 52, 1138-1154, 2005.

FOI:s underlag till AG Säkpöl 2012, FOI-2012-841, 2012-08-30.

Forster, P., et al., Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, publicerad i Solomon, S., et al. (eds.), *Climate Change 2007: The*

Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

Fisher, G., GPS & Space Weather: Understanding the Vulnerabilities & Building Resilience, presentation vid Space Weather Workshop, Boulder, Colorado, 2011.
www.swpc.noaa.gov/sww/sww11/SWW_2011_Presentations/Tues_830/Fisher_SWW2011_042511

Gautier, D.L., et al., *Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Arctic*, Science, Vol. 324, no. 5931, pp. 1175-1179, 29 May 2009.

Granhölm, N. (ed.), *Arktis – Strategiska frågor i en region i förändring*, FOI-R--2469-SE, 2008.

Granhölm, N., *Delar av ett nytt Arktis. Utvecklingar av dansk, kanadensisk och isländsk arktispolitik*, FOI-R--2861-SE, 2009.

Granhölm, N., *USA och Arktis. Ett amerikanskt dilemma i väntläge?*, FOI-R--3286-SE, 2011

Granhölm, N., *A New Arctic - Strategic Issues in a Dynamic Region*, i Salmela, L. (ed.), *Nordic Cooperation and the Far North*, National Defence University, Department of Strategic and Defence Studies, Helsinki, 2011.

Granhölm, N., *The Arctic and the North Atlantic – Strategic Significance for Sweden*, i Hugemark, B. (ed.), *Friends in Need*, Royal Swedish Academy of War Sciences, Stockholm, 2012.

Granhölm, N. och Kiesow, I., *Olja och gas i ett nytt och förändrat Arktis. Energifrågans utveckling mot bakgrund av regionens strategiska dynamik*, FOI-R--2971-SE, 2010.

Granhölm, N. och Malminen, J., *Islands strategiska ställning. En probleminventering*, FOI-R--3227-SE, 2011.

Hannevik, T.N. och Skauen, A.N., *Ship detection using high resolution satellite imagery and space-based AIS*, FFI-rapport 2011/01693, 2011.

Haugen, T., *Radio navigation and tracking technologies*, Kongsberg.

Heininen, *Arctic Strategies and Policies: Inventory and Comparative Study*, 2011.

IPCC, 2000, Nakicenovic, N. and Swart, R. (Eds.), *Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/emissions_scenarios.pdf

IPCC, 2007, *Technical Summary*. Solomon, S., et al. (eds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Working Group 1 Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC, 2012, Field, C.B., et al. (eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*,

Cambridge University Press, Cambridge, UK. http://www.ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf

Ivansson, S., *Stochastic ray-trace computations of transmission loss and reverberation in 3-D range-dependent environments*, pp. 131-136 i Jesus, S.M. och Rodriguez, O.C. (eds.), *Proceedings 8th ECUA (European Conference on Underwater Acoustics)*, Carvoeiro, Portugal; 2006.

Jensen, A.B.O., et al., *EGNOS Performance in Northern Latitudes*, *Proceedings of the 13th IAIN World Congress*, Stockholm, 27-30 October 2009.

Jensen, A.B.O. och Sicard, J-P., *Arctic Navigation Issues*, e-NAV conference Nordic Institute of Navigation Bergen, mars 2009.
www.nornav.org/getfile.php/879254.753.cfswxvyrts/07+Arctic+Positioning+Issues+Anna+B+O+Jensen+AJ+Geomatics.pdf

Jensen, A.B.O. och Sicard, J-P., *Challenges for Positioning and Navigation in the Arctic*, *Coordinates*, Volume VI, Issue 10, October 2010.
<http://mycoordinates.org/challenges-for-positioning-and-navigation-in-the-arctic/>

Kintner, Jr, P.M.: *A Beginner's Guide to Space Weather and GPS*, uppdaterad version 2008, gps.ece.cornell.edu/SpaceWeatherIntro_update_2-20-08_ed.pdf.

Larsson, E. och Abrahamsson, L., *Helmholz and parabolic equation solutions to a benchmark problem in ocean acoustics*, *J. Acoust. Soc. Am.* **113**, 2446-2454, 2003.

Laske, G. and Masters, G., *A Global Digital Map of Sediment Thickness*, *EOS Trans. AGU*, 78, F483, 1997.

Lennartsson, Al. och Lindvall, F., *USA:s bidrag till Natos missilförsvar - En analys av the Phased Adapted Approach*, FOI-R--3226--SE, version 2, 2011.

Lemke, P., et al., *Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground*, publicerad i Solomon, S., et al. (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

Ludwig, M., et. al., *Phased Arrays and Electronic Beam Scanning for Spaceborne SAR Systems*, *Workshop notes WS20: Recent Developments in Phased Array Radar*, *European Microwave Week 2012*, Amsterdam, Nederländerna, 28 Oct. - 2 Nov. 2012.

Meehl, G.A., et al., *Global Climate Projections*, publicerad i Solomon, S., et al. (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

Nakićenović, N. och Swart, R., (eds.), *Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2000.

Nghiem, S.V., I.G. Rigor, D.K. Perovich, P. Clemente-Col.n, J. Weatherly, and G. Neumann, *Rapid reduction of Arctic perennial sea ice*, *Geophysical Research Letters*, 4:L19504, 2007.

- Ragnarsson, R., et al., *Metoder för detektion av små sjömål med radar*, FOI Memo 3641, 2011.
- Richter-Menge, J., Jeffries, M.O. och Overland, J. E. (eds.), *Arctic Report Card*, 2011. <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>
- Rinnan, A., *GNSS in the Arctic*, Dynamic Positioning Conference, oktober 2010.
- Rosenqvist, L. och Rabe, E., *A global model of electromagnetic background noise*, FOI R-3236--SE, 2011.
- Rosenqvist, L. och Rabe, E., *A global model of electromagnetic background noise*, publicerad i Proceedings of the seventh international conference on marine electromagnetics (MARELEC 2011), San Diego, USA, 2011.
- Rummukainen M., et al., *Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av naturvetenskapliga aspekter*, Klimatologi Nr 4, 2011.
- Smith, W. H. F. and D. T. Sandwell, *Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry*, *J. Geophys. Res.*, 99, 21803-21824, 1994.
- Stefanick, T., *Strategic Antisubmarine Warfare and Naval Strategy*, Institute for Defence & Disarmament Studies, Lexington Books, 1987.
- Sturm, F., et al., *Numerical investigation of out-of-plane sound propagation in a shallow water experiment*, *Journal of the Acoustical Society of America*, 124:6, EL341-EL346, 2008.
- Tietsche, S. N., et al., *Recovery mechanisms of Arctic summer sea ice* *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, L02707, doi:10.1029/2010GL045698, 2011.
- Tollefsen, D., *Thin-sediment shear-induced effects on low-frequency broadband acoustic propagation in a shallow continental sea*, *J. Acoust. Soc. Am.* 104 (5), p. 2718, 1998.
- Trenberth, K.E., et al., *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*, publicerad i Solomon, S., et al. (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html
- Tulldahl, H.M. och Pettersson, M., *Lidar for shallow underwater target detection*, in *Electro-Optical Remote Sensing, Detection, and Photonic Technologies and their Applications*, G. W. Kamerman, K. O. Steinvall, K. L. Lewis, K. A. Krapels, J. C. Carrano, and A. Zukauskas, eds., *Proc. SPIE 6739*, pp. 673906-673901 -- 673912, 2007.
- US Geological Survey, *Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle*, Fact Sheet 2008-3049, 2008. Se även <http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/fs2008-3049.pdf>
- Voipio, A. (ed.), *The Baltic Sea*, Elsevier Oceanographic Series, 30, Elsevier 1981.
- WMO sea-ice nomenclature, WMO Publication No. 259, 1970.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se