

FÖRSVARSHÖGSKOLAN

C-UPPSATS

<i>Författare</i> Örlkn Bengt Lundgren	<i>Förband</i> 2 Ytstridsflottiljen	<i>Kurs</i> FHS ChP T 99-01
<i>FHS Handledare</i> Kk Lars Gryzelius		
<i>Uppdragsgivare</i> FHS MTI	<i>Ämnets beteckning</i> 19100:1067	<i>Kontaktman</i>

Satellitkommunikation för Marinens fartyg

Denna uppsats är skriven inom ramen för den tekniska specialiseringen vid Försvarshögskolan och är en deskriptiv och komparativ studie av möjligheterna för Marinen att skaffa satellitkommunikationssystem.

Marinen har i takt med nya uppgifter fått behov av ett autonomt sambandssystem som kan användas som komplement vid internationella operationer. För att kunna delta inom ramen för NATO-ledda fredsbevarande operationer är satellitkommunikationssystem t.o.m. ett krav som Marinen i dagsläget inte klarar av att fylla.

Den säkerhetspolitiska utvecklingen och en förändrad hotbild gör att utnyttjande av ett helt civilt system är ett kostnadseffektivt och realistiskt alternativ. Geostationära satelliter utgör då fortfarande det bästa valet med hänsyn till täckningsområde och driftsäkerhet. Operationsområdet styr vilken operatör man väljer, men inriktningen bör vara en svensk satellit eller en satellit med svensk delägande.

Tekniskt sett skall systemet vara uppbyggt kring hyllvara (COTS). Kraven på överföringshastighet styrs av användningsområde och frekvensen av vilken operatör som valts. Antennsystemet måste vara stabiliserat för att klara av att kontinuerligt följa satelliten. Den lämpligaste konfigurationen blir att dela upp horisonten på två eller flera antenner. Om möjligt skall systemet gå att integrera i befintliga system, men ett fristående alternativ kan övervägas. Kostnaderna för anskaffning och drift förväntas bli låga om civil teknik utnyttjas.

Sökord: Satellitkommunikation, SWELINK, SWEMILSAT, SWIPSAT

1	INLEDNING.....	4
1.1	BAKGRUND.....	4
1.2	SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR.....	4
1.3	METOD.....	5
1.4	MATERIAL.....	6
1.5	AVGRÄNSNINGAR.....	7
2	TEKNISK BAKGRUNDSBESKRIVNING.....	8
2.1	INLEDNING.....	8
2.2	MOBIL SATELLITKOMMUNIKATION.....	8
2.3	UPPBYGGNAD AV ETT SATELLITSYSTEM.....	9
2.4	BANHÖJDER OCH SATELLITTYPER.....	10
2.5	SATELLITLÄNKEN.....	15
2.6	LÄNKBUDGET.....	17
2.7	FÖRHÅLLANDE MELLAN UTSÄND OCH MOTTAGEN EFFEKT.....	18
2.8	SIGNAL/BRUSFÖRHÅLLANDE.....	19
2.9	SIGNALBEHANDLING.....	20
2.10	INTERFERENSPROBLEM.....	20
2.11	UTBREDNINGSPROBLEM.....	21
2.12	UTBREDNINGSFÖRHÅLLANDE TILL SJÖSS.....	22
2.13	DIGITAL KOMMUNIKATIONSTEKNIK.....	22
2.14	DESIGN AV EN BANDBEGRÄNSAD SIGNAL.....	23
2.15	TEKNIKER FÖR ATT KONTROLLERA FEL.....	25
2.16	DIGITAL KODNING AV TAL.....	26
2.17	MULTIPLE ACCESS TEKNIKER.....	27
3	ATMOSFÄRSDÄMPNING OCH STÖRSÄKERHET.....	28
3.1	ATMOSFÄRSDÄMPNING.....	28
3.2	STÖRSÄKERHET.....	29
3.3	MOTVERKAN MOT STÖRNING.....	31
4	ANTENNER OCH FARTYGSSYSTEM.....	32
4.1	INLEDNING.....	32
4.2	MEKANISKA OCH ELEKTRISKA EGENSKAPER.....	32
4.3	ANTENNEGENSKAPER.....	34
4.4	FÖLJNING AV SATELLITEN.....	35
4.5	ANTENNSTABILISERING.....	36
4.6	MOBILA STATIONER.....	37
4.7	FASSTYRDA ANTENNER.....	38
4.8	LEVERANTÖRER.....	40
4.9	KOSTNADER.....	40
5	SATELLITSYSTEM OCH TJÄNSTEUTBUD.....	41
5.1	SATELLITKOMMUNIKATIONSSYSTEM.....	41
5.2	INTERNATIONELL KOORDINATION.....	41
5.3	KOMMERSIELLA SYSTEM.....	42
5.4	ERBJUDNA TJÄNSTER.....	42
5.5	MILITÄR SATELLITKOMMUNIKATION.....	44
5.6	UTLÄNDSKA MARINA SATELLITKOMMUNIKATIONSSYSTEM.....	47
6	SVENSKA FÖRSÖK OCH INSTALLATIONER.....	49
6.1	ARBETEN OCH UTREDNINGAR INOM FM, FMV, FOA OCH FHS RAM.....	49
6.2	PROV- OCH FÖRSÖKSVERKSAMHET – SWELINK, SWEMILSAT, SWIPSAT.....	50
6.3	MARINA PROV OCH INSTALLATIONER.....	54
7	SPECIFIKATION OCH ANALYS AV KRAV PÅ SYSTEMET.....	57
7.1	ÖVERBEFÄLHAVARENS BESLUT.....	57

7.2	INRIKTNINGAR.....	58
7.3	STRATEGISKA OCH OPERATIVA KRAV.....	60
7.4	TAKTISKA KRAV.....	61
7.5	ÖVERFÖRINGSKAPACITET	62
7.6	TIDSKRAV.....	64
7.7	STÖRFÄSTHETSKRAV.....	65
7.8	SIGNALSKYDDSKRAV.....	66
7.9	ALLMÄNNA TEKNISKA KRAV PÅ FARTYGSTERMINALER OCH ANTENNER	66
7.10	FREKVENSVÄL.....	67
7.11	ANTENNSTORLEK OCH VIKT	67
7.12	RIKTNINGSNOGGRANNHET	68
7.13	HÅLLFÄSTHETS- OCH MILJÖKRAV.....	69
7.14	INSTALLATIONSKRAV.....	70
7.15	TEKNISKA PROV OCH FÖRBEREDELSE.....	70
7.16	GRÄNSSNITT.....	71
7.17	EKONOMISKA ASPEKTER.....	71
7.18	ÖVRIGA KRAV.....	72
8	FRAMTIDSASPEKTER.....	72
8.1	ALLMÄNT	72
8.2	REDUNDANS.....	73
8.3	FRAMTID FÖR MILITÄR SATELLITKOMMUNIKATION.....	74
8.4	FRAMTIDEN FÖR CIVIL KOMMUNIKATION	74
9	SLUTSATSER.....	75
9.1	BEHÖVS SATELLITKOMMUNIKATION PÅ MARINENS FARTYG ?.....	75
9.2	VILKA MÖJLIGHETER FINNS ATT SKAFFA ETT SATELLITKOMMUNIKATIONSSYSTEM ?	76
9.3	VILKEN TYP AV SYSTEM BÖR I SÅ FALL ANSKAFFAS ?.....	77
9.4	HUR SKALL SYSTEMET TEKNISKT SETT VARA UPPBYGGT ?.....	78
10	SAMMANFATTNING.....	79
	REFERENSER.....	81
	ÖVRIGT KÄLLMATERIAL.....	82
	INTERNETADRESSER.....	84

BILAGOR

1. Akronym och förkortningar
2. Kompletterande fakta
3. Satellitsystem och frekvenstilldelning
4. Operatörer och system
5. Geostationära satelliter
6. Icke-stationära banor
7. Militära satelliter
8. Exempel på satellitkommunikationssystem
9. Den mobila satellitkommunikationens historia
10. Abstract

Förord

Vid Försvarshögskolans Chefsprogram skriver de studerande en uppsats motsvarande universitetens C-nivå. Målsättningen är att den enskilde skall tillämpa ett vetenskapligt och metodiskt utredningssätt och därefter kunna presentera resultatet i skrift. Uppsatsen tjänar dessutom i det flesta fall som en fördjupning inom respektive profileringsområde.

Kunskapen om satelliter och satellitsystem har hittills varit ganska begränsad inom Försvarsmakten, trots att olika typer av tillämpningar funnits i mer än fyra decennier. På senare tid har dock kompetens utvecklats inom områdena fjärr- och bildanalys, medan kommunikationssegmentet fortfarande till största delen befinner sig i en studiefas. Denna uppsats syftar till att studera Marinens behov av satellitkommunikation och presentera några av de alternativ och möjligheter som finns på marknaden. Målsättningen är att visa att systemet kan utgöra ett värdefullt komplement till övrigt samband och att civila system med utnyttjande av civil teknik utomordentligt väl täcker våra behov.

Under arbetets gång har författaren fått värdefull hjälp av ett antal personer inom och utom Försvarsmakten. I första hand vill jag tacka Anders Eklund på HKV, Mats Lindhé på FMV och Ulf Ekblad på FOI.

Min förhoppning är att kunna bibringa läsaren lite ny kunskap i ämnet och någon stunds trevlig läsning. Mycket nöje.

Bengt Lundgren

FHS ChP 99-01

Profilering Ledning/telekrig

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det svenska marina radionätet är idag uppbyggt kring ett antal kustradiostationer. Såväl tal- som datatrafiken till och från fartygen sker huvudsakligen på kortvåg och ultrakortvåg. Systemet är i stort sett autonomt vilket innebär att möjligheterna till vidarekopplingar är mycket begränsade. Redan vid dagens övningsverksamhet kan således tillgängligheten emellanåt vara begränsad. Stora avstånd och svåra atmosfäriska förhållande under olika årstider och tider på dygnet påverkar trafiken och aktualiserar behovet av ytterligare överföringsmöjligheter. Ett alternativ skulle kunna vara att komplettera det marina radionätet med satellitkommunikation, något som under ett antal år har varit föremål för tankar och studier. Hittills har dock dessa tankar fått stå tillbaka för det faktum att anskaffning och drift av ett autonomt satellitsystem tekniskt och kostnadsmässigt inte ansetts stå till Försvarsmaktens förfogande. Anskaffning av kommersiella alternativ har heller inte ansetts möjligt och en milstolpe kan därför upprättandet av satellitkommunikation med vår utlandsstyrka i Bosnien anses vara, ett system som byggts kring en civil satellit och med civila komponenter.

1.2 Syfte och frågeställningar

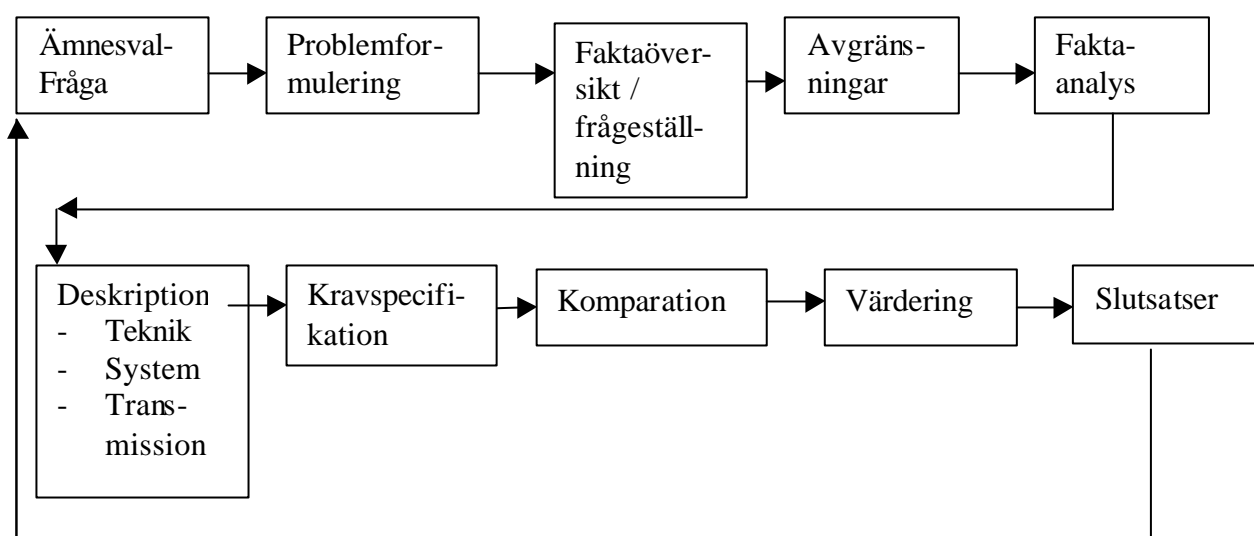
Uppsatsen syftar till att belysa behovet och möjligheterna till att använda mobil satellitkommunikation på Marinens fartyg. Med utgångspunkt från detta skall följande frågor besvaras:

- Behövs satellitkommunikation på Marinens fartyg ?
- Vilka möjligheter finns att skaffa ett satellitkommunikationssystem ?
- Vilken typ av system bör i så fall anskaffas ?
- Hur skall systemet tekniskt sett vara uppbyggt ?

1.3 Metod

Arbetet initierades genom att författaren ville undersöka möjligheterna för Marinen att utnyttja satelliter för spaning och kommunikation. Inledningsvis granskades översiktligt vetenskapliga litteratur, tidskrifter, rapporter och skrivelser inom området. Redan nu klargjordes ämnets omfattning och den vidare forskningen avgränsades mot satellitkommunikation. För att ytterligare ringa in ämnet valde författaren att ägna sig till större delen åt mobil satellitkommunikation. Ansatsen blev nu att uppsatsen skulle ha två syften: dels fungera som en introduktion till ämnet och dels undersöka behovet och möjligheterna kring att utrusta Marinens fartyg med sådana system.

Nästa steg i arbetet har utgjorts av faktainsamling och observation. Den vetenskapliga litteraturen kompletterades med ett antal intervjuer med personer inom Försvarmakten, Försvarets materielverk och Totalförsvarets forskningsinstitut. På detta sätt fick författaren också tillgång till mer material inom området. För att komplettera litteratur- och rapportstudier med mer aktuellt material har sökning på Internet genomförts varvid ett antal uppgifter kunnat uppdateras. För att kunna besvara uppsatsens fyra frågeställningar analyseras var vi står idag och en kravspecifikation framtas. Denna tjänar som utgångspunkt för en tolkningsprocess som innehåller en ren jämförelse av krav och möjligheter och en del där värdering gentemot ställda frågor sker. Slutligen sammanfattas arbetet och vissa framtidsperspektiv ges.



Figur 1. Utredningsprocessen

1.4 Material

Litteraturen till uppsatsen är utvald genom databassökning hos svenska universitet och högskolor. Material som är fem år gammalt eller yngre har därefter översiktligt gått igenom. Att en sådan tidsgräns satts upp beror dels på en vilja att begränsa materialet, och dels på att mycket av informationen inom ämnesområdet snabbt blir obsolet.

Vad gäller material från Totalförsvaret Forskningsinstitut, har samtliga rapporter publicerade sedan 1992 inom ämnesområdet satelliter inventerats. De rapporter och utredningar som på något sätt behandlar satellitkommunikation i helhet eller till del har valts ut. Rapporter av äldre datum har lagts åt sidan, beroende på att de snabba förändringarna som sker inom segmentet gjort dem helt eller delvis inaktuella. Kvarvarande rapporter har utnyttjats både som faktamaterial och diskussionsunderlag.

Någon omedelbar överblick över Försvarets utredningsmaterial är svår att få. Samband och kommunikation är delar av ledningssystem. De utreds och presenteras därför oftast inte enskilt utan som delar av perspektivplaner, Försvarets inriktningar, ledningssystemutredningar och Överbefälhavarens beslut.

Hos Försvarets Materielverk har fakta från offerter, arbetsordrar, fakturor och rapporter kring de inköp och prov som genomförts av satellitkommunikation använts. Inget urval har här skett utan i stort sett allt material har utgjort bakgrundsfakta och används i uppsatsen.

En del information har hämtats från Internet. Informationsmängden härifrån har begränsats i själva uppsatsen då både upphovskälla och beständighet alltid innebär problem. Vad gäller färsk information är dock Internet överlägsen andra källor. I bilagorna har därför en del information hämtats från officiella hemsidor för satellitoperatörer, teleföretag, tillverkare eller vetenskapliga institut.

Slutligen så har ett antal intervjuer genomförts med syfte att få en överblick över kunskapsläget inom de myndigheter som hanterar totalförvarsfrågor och att få en del kompletterande material. Intervjuobjekten har valts ut på grundval av att de i sammanhanget har en central

position inom respektive organisation och kan anses besitta värdefull kunskap och dessutom kan anses företräda myndighetens uppfattning i olika frågor.

Hos Försvarsmakten har Anders Eklund på KriLed Telekom intervjuats. Han är funktionsansvarig för Satellitkommunikation och har mångårig erfarenhet inom ämnet.

Ulf Ekblad på FOI är ledande inom sitt område och har genomfört ett 40-tal utredningar om olika satellitfunktioner. Mats Lindhé på FMV är satellitansvarig inom Kunskapscentrum telekom och har mångårig erfarenhet inom satellitområdet. Per Möller-Nielsen är dansk sjöofficer med erfarenhet som sambandsansvarig under bl.a. operation "Sharp Guard" i Adriatiska Havet.

1.5 Avgränsningar

Satelliten kommer beröras enbart som en del i sambandskedjan.

Satellitmonterade antenner presenteras som en del av kommunikationskanalen, deras konstruktion, storlek och egenskaper analyseras ej.

Utanför uppsatsens område ligger också konstruktion, uppskjutning och drift av satelliter.

Uppsatsen vänder sig inte till nybörjaren inom telekommunikation utan kräver vissa sambands-, teletekniska- och datatekniska förkunskaper.

Vedertagna engelska begrepp kommer inte översättas. Detta medför att uppsatsen kommer innehålla en blandning av svenska och engelska uttryck.

Uppsatsen ändamål är att föreslå en investering i närtid och maximalt tre år framåt.

Akronymer och förkortningar förklaras bara en gång i texten, men finns sammanställda i bilaga 1.

2 Teknisk bakgrundsbeskrivning

2.1 Inledning

Satellitkommunikation har utvecklats från en unik möjlighet för några få länder till en vardaglig och vanlig teknik. Många företag och flertalet av jordens TV-bolag utnyttjar idag kommunikation via satellit.

Satelliten har ett mycket stort täckningsområde, vilket är oberoende av gränser mellan länder och regioner. Inom täckningsområdet är man avståndsoberoende. Oavsett var man är någonstans och förutsatt att man inte är skymd, så har man täckning. Själva systemet utmärks av att det är nätflexibelt dvs. oberoende av lokal infrastruktur och geografiskt utbyggt redan från början. Tack vare att inga nya gränssytor behövs så är installations- och injusteringstider mycket korta, vilket är en stor fördel i ett krigshärjat område eller i ett katastrofområde efter tex. en jordbävning.

Satelliterna kan användas som länk mellan noderna i ett mobilt kommunikationsnät eller för att upprätta och övervaka de mobila noderna i marknätet. En av de främsta fördelarna med kommunikation via satellit ligger i möjligheten till snabb och flexibel sammanlänkning av lokala markbundna nät. Satelliter kan också användas som en alternativ kommunikationsväg, antingen när en terminal inte får kontakt med någon annan terminal/nod eller när marknätet är överbelastat.

Kapaciteten är hög i förhållande till tex. kortvågssystem. De frekvenser som utnyttjas vid satellitkommunikation möjliggör mycket större bandbredder och därmed möjlighet att föra över mer information per tidsenhet. Det är också flexibelt med avseende på typ av teletjänster som kan erbjudas och man kan erbjuda ett enhetligt tjänsteutbud oavsett var man befinner sig. Dessutom kan man få all service från samma leverantörer och behöver inte anlita olika operatörer för olika områden.

2.2 Mobil satellitkommunikation

Den första generationens satellitsystem utgörs av länkning mellan två fasta jordstationer via en satellit, vilket kräver stora, fasta och dyra basstationer. Den andra generationen satelliter

har betydligt större kapacitet och kan erbjuda kommunikation mellan en rörlig och en fast markstation. Den tekniska utvecklingen möjliggjorde en väsentlig minskning av storleken på jordstationen, men man kunde alltså inte ännu erbjuda kommunikation direkt mellan två rörliga markstationer via satelliten, utan var tvungen att processa signalen i en basstation. Nästa utvecklingssteg, den tredje generationens system, kommer att innebära små handburna system där man till skillnad från tidigare kan kommunicera direkt mellan de mobila systemen via satelliten, utan att signalen först måste behandlas i en basstation. Satelliten i sig är utrustad med sofistikerad ombordutrustning som signalbehandling, nätverksanpassning och kanalskiftesmöjligheter.

Mobil satellitkommunikation är alltså kommunikation mellan rörliga enheter på jordytan och har således inget att göra med hur satelliten är konstruerad.

2.3 Uppbyggnad av ett satellitsystem

Alla satellitsystem kan grovt sägas bestå av tre delar, satellit, kontrollstation (gateway earth station) som övervakar satelliten och trafiksystemet samt sändar- och mottagarterminaler. Länken till satelliten kallas upplänk (uplink) och länken från satelliten kallas nedlänk (downlink). Rymdsegmentet innehåller förutom satelliten all markutrustning för kontroll och övervakning av satelliten, vilket inkluderar följning, telemetri och nätverkskontroll tillsammans med satellitkontrollcentret där all positionshållning och kontroll av satelliten sker. Detta grundkoncept framgår av figur 2 här nedan.

Figur 2. Konceptet kring mobil satellitkommunikation

2.4 Banhöjder och satellittyper

Geostationära satelliter befinner sig på 35800 km höjd. På denna höjd har en satellit samma omloppstid som jorden tar på sig för att rotera ett varv. Om satellitens banplan sammanfaller med ekvatorsplanet förefaller den stå stilla i förhållande till jorden, men i själva verket rör den sig relativt jorden beroende på bl.a. inbyggda fel och imperfektioner i jordens rörelse och dess inklinations påverkas under dygnet. För att undvika större avvikelser än 0.1 grad från den ideala positionen i latitud- och longitudinell led är därför dessa satelliter utrustade med små styraketer. För markstationernas del ställer avvikelserna krav på förmåga att följa satelliten, något som idag nästan alltid sker genom mekanisk antennstyrning.

Geostationära satelliter har ett mycket stort täckningsområde. Med tre satelliter åtskilda 120 grader longitudinellt kan man med undantag av polarområdena täcka hela jordytan. Täckningen i latitudled varierar, beroende på satellitens position längs ekvatorn och dess höjdvinkel, inklinations, men är normalt upp till ca 80 grader nordlig och sydlig bredd.

Civila geostationära kommunikationssatelliter kan betraktas repeatrar på mycket hög höjd. Ett beskrivande begrepp som används i sammanhanget är "bent pipe", syftande på den process som sker. Mottagning från markstation, förstärkning och återutsändning kan liknas vid ett böjt rör som egentligen bara ändrar riktningen på sändningen. Detta är det hittills dominerande konceptet för satellitkommunikation. Idag finns dock tekniska möjligheter att ge satelliter mer avancerad signalbehandling.

En av nackdelarna med geostationära satelliter är att stort avstånd ger stor dämpning (effekt-spridningen är proportionell mot avståndet i kvadrat), vilket kräver relativt stora mottagningsantennerna. Mellan två isotropa antenner ligger den i intervallet 190-210 dB för frekvenser inom 1,5-15 GHz. En annan nackdel är den långa löptiden för signalen. Denna beror på avståndet mellan satelliten och markstationen och är ca 240 ms.

Ett flertal studier kring geostationära satelliter har visat att det är svårt att med denna banhöjd kompromissa fram stor överföringskapacitet, liten antenn och en inte alltför stor satellit. Genom att använda Ka-bandet kan man öka överföringsmängden och göra antennen mindre, men man blir också mer känslig för atmosfärsdämpning.

Sverige har tillsammans med Danmark för närvarande två geostationära kommunikationssatelliter i Sirius-programmet i drift, 5 ° öster om nollmeridianen. Luftrummet för geostationära satelliter är till skillnad från andra satellitbanor reglerat.

En översikt över geostationära satelliter och satellitoperatörer finns i bilagorna 4 och 5.

Low Earth Orbit, LEO, möjliggör global täckning med små antenner. Satellitens låga banhöjd (normalt ca 1000 km) gör att mindre effekt krävs och därmed att mindre och enklare antenner kan utnyttjas för sändning och mottagning. Satellitens stora rörelse gör dock att användaren (som i praktiken kan betraktas som stillastående) är inom dess täckningsområde endast några få minuter.

LEO-systemen indelas i "Big-LEO" med nära realtidskommunikation med hög datahastighet, talkanaler, fax mm och "Little-LEO" som består av färre satelliter och därför inte möjliggör en realtidstäckning. Istället lagras meddelandet i en satellit och sänds till mottagaren när den passerar (store-and-dump). Dessa system har självklart lägre prestanda vad gäller datahastigheter och kan ej heller erbjuda talförbindelser. Exempel på denna typ av system är Orbcomm.

Det första civila kommunikationssystemet som bygger på Big-LEO-konceptet är Iridium som blev operativt under hösten 1998. Iridium är ett system med 66 satelliter avsedda för mobiltelefoner med bärbara handapparater. Global täckning uppnås genom det stora antalet satelliter. Varje plats på jordytan har ständig kontakt med någon satellit över horisonten. Iridium har dock redan från början brottats med stora ekonomiska problem och gick under år 2000 i konkurs, men har nu rekonstruerats och finns åter i drift i ett nytt konsortium.

Ett annat exempel på LEO-system är Globalstar som är tänkt att bestå av 48 satelliter.

En tredje typ av LEO-satelliter skulle bredbandssatelliter kunna sägas utgöra. Tanken med dessa Big LEO-system är att kunna erbjuda förbindelser med mycket hög överföringskapacitet, i framtiden kanske ända upp till gigabit per sekund. En av de möjliga tjänstealternativ skulle då kunna vara direktaccess till Internet. Systemen kallas därför ibland lite slarvigt för

”Internet-in-the-sky”. En av förutsättningarna för att kunna erbjuda ständig uppkoppling är ett stort antal satelliter, något som gör systemen mycket dyra. Av de hittills projekterade systemen är det bara Teledesic och Skybridge som på något sätt börjat realiseras. Båda dessa är dock avsevärt nedbantade från den ursprungliga planen och avsevärda förseningar gör att endast mindre delar kan påräkna driftsättning i närtid.

En jämförelse av de olika LEO-systemen finns i tabell 1 nedan och en utförligare beskrivning av vissa system finns i bilaga 8.

Tabell 1. Jämförelse av olika LEO-system

	Big-LEO	Little-LEO	Bredband/ Internet-in-the-sky
Antal satelliter	50-100	10-20	50-1000
Satellitstorlek	700 kg	200 kg	500 kg
Systemexempel	Iridium/ Globalstar	Orbcomm	Teledesic/ Skybridge
Datahastighet	16-1000 kbit/s	9,6-64 kbit/s	14,4-2048 kbit/s

Fördelarna med LEO-system är att man kan använda rundstrålande antenner med lägre effekt då transmissionsförlusterna minskar tack vare satellitens lägre banhöjd. En annan av de stora fördelarna är att fördröjningstiden är betydligt mindre än för geostationära satelliter, vilket är viktigt vid realtidskommunikation och då framförallt talkommunikation. Den stora nackdelen är att det stora antalet satelliter medför mycket stora investeringskostnader.

Tabell 2. Jämförelse mellan GEO- och LEO-satelliter (Ohmori, Wakana & Kawase, 1998)

		GEO	LEO
System	Frekvens	800 MHz. L band, S band.	Ku-band. Upp till millimetervågor
	Täckning	Global täckning med undantag av polerna	Global täckning inklusive polerna
	Elevation	Över 5 grader	10-20 grader
	Fördröjning	240 ms	10-30 ms
	Backup	Reservsatellit i bana	Aktiva satelliter täcker åt varandra
	Byte av satellit	Ej nödvändigt	Kan krävas
Satellit	Vikt	Stor (över 2 ton)	Många små
	Signalbehandling	Nödvändig	Avancerad
	EIRP	Hög	Låg
	Datahastighet	4,8-20000 kbit/s	4,8-100000 kbit/s
	Livslängd	15 år	5-8 år
	Banprofil	Geostationär (36000 km)	Arbitrary
Användarterminal	Storlek	Flyttbar	Handburen
	antenn	Riktantenn med följning	Runtstrålande
	Hantering av dopplerskift-störningar	Nödvändig (Hög frekvens utnyttjas)	Önskvärd (rörliga satelliter
	Täckningsområde	Fast	Rörligt
Exempel på system		ACTS, COMETS	Iridium, Globalstar, Odyssey

Mitt emellan GEO- och LEO-satelliterna ligger **ICO** (Intermediate Circular Orbit) som ibland också kallas **MEO** (Medium Earth Orbiting). Dessa satelliter har banor på 5000-20000 km höjd. Fördelen med ICO är att utbredningsdämpningen reduceras i jämförelse med GEO med en faktor 10 dvs 10 dB och löptiden reduceras till ca 100 ms. En annan fördel är att Nord- och sydpolsregionerna täcks effektivt. Nackdelen är att det erfordras fler satelliter, nio i jämförelse med tre för GEO.

HEO är en bantyp som inte är så vanlig men som användes av ryska system redan 1965. Banan, som är elliptisk, är inte på konstant avstånd från jorden utan banhöjden varierar mellan, perigeum ,dvs den lägsta punkten, på ca 1000 km och apogeum (högsta punkt) på 39100 km i en elliptisk asynkron bana, dvs jorden befinner sig i ena brännpunkten. Omloppstiden blir ca 12 timmar. En jordstation placerad under apogeum kommer under ca 10 timmar uppleva sa-

telliten som i praktiken stillastående. För att uppnå denna effekt över hela jordytan krävs tre satelliter i varje banplan och fyra banplan för att täcka jordytan.

Med en baninklination på 60 grader täcker man Nord- och Sydpolsregionerna effektivt. Nackdelarna är samma som med GEO vad avser löptid och dessutom tillkommer ett behov av att växla satellit. En jämförelse mellan olika banplan och system återfinns i tabell 3 och tabell 4 nedan.

Tabell 3. Jämförelse mellan de fyra banplanen.

Banhöjd	GEO	LEO	ICO	HEO
System	Inmarsat	Iridium	ICO	Molniya
Banform	Cirkulär	Cirkulär	Cirkulära	Oval
Antal banor	1	6	4 banplan	4
Höjd	36000 km	780 km	10000 km	Apogee 40000km Perigee 500 km
Satellitvikt	1500 kg	700 kg	1200 kg	1000 kg
Antal satelliter	3	66	12-15	12
Synlig tid	24 h	10 min	1 h	8 h

Tabell 4. För- och nackdelar hos olika system. (Ohmori, Wakana & Kawase, 1998).

	GEO	LEO, MEO/ICO	HEO
Fördelar	Enkel konfiguration	Mycket lägre dämpning längs utbredningsvägen	Hög elevationsvinkel
	Mycket stort täcknings- område på jordytan	Mycket bättre länkmarginal	Flexibel systemdesign
	Tidsinvariant geometri för markstationerna	Enklare uppskjutning	
	Enkla kontrollsystem för rymddelen	Enkla bärbara terminaler/ telefoner	
Nackdelar	Effektbegränsade länkar	Stort antal satelliter	Lägre länkmarginal än MEO
	Stora utbredningsför- dröjningar för tal och ARQ-baserad paketdata trafik	Mer komplexa trafik- styrningssystem erford- ras i satelliten	Stora antenner på sate- liten
	Täcker inte polarområ- dena	Less satellite dwell time	Stort dopplerskifte
		More frequent handoffs	Kortare livstid pga re- gelbundna passager av bla van Allen bältet
		Mycket större dopple- skift	

Det är svårt, med tanke på systemens olika för- och nackdelar, när man skall designa framtidens personkommunikationssystem att välja mellan GEO- eller LEO system. Ett antal försök med att använda geostationära satelliter med stora multilobantennerna för att möjliggöra handburna markstationer har genomförts eller genomförs. Om GEO-satelliter skall användas måste höga frekvensband som Ka-band kunna utnyttjas för att möjliggöra tillräcklig bandbredd och många användare. Fördelen är att terminalen kan bli av ungefär samma storlek som en mobiltelefon, nackdelen är att satelliten måste vara mycket stor för att ha tillräcklig uteffekt. Vidare måste användarterminalens antenn riktas för att möjliggöra följning av satelliten och minska effekten av vågutbredningsdämpningen. Självfallet kommer atmosfärens inverkan ändå att få stor betydelse, å andra sidan om LEO satelliter utnyttjas, krävs ett stort antal satelliter för att möjliggöra "skarvlös" överföring. Detta kan dock lösas genom kanalskifte mellan satelliterna. Fördelarna med LEO satelliter är att man tack vare den låga banhöjden får tillräcklig effekt genom att använda rundstrålande antenner. Höjden och den lägre frekvensen gör ju att transmissionsförlusterna blir betydligt mindre. En annan stor fördel är att transmissionsfördröjningen är betydligt mindre än hos GEO, något som är mycket väsentligt vid realtidskommunikation.

2.5 Satellitlänken

Länk via satellit innebär samma typ av kommunikation som markbaserad radiolänk, dvs. kommunikation mellan två terminaler via mellanliggande repeterare. I satellitsystemet ingår vanligen tre enheter, en jordstation som fungerar som knutpunkt för användare i det fasta tele-nätet. Den andra delen är användarterminalen och den tredje satelliten. Trafiken kan enkelt beskrivas som förbindelse i framriktningen markstation-upplänk-satellit-nerlänk-mobilterminal och för bakriktningen mobilterminal-upplänk-satellit-nerlänk-markstation. Alternativt kan satelliten fungera direkt som repeterare mellan mobila terminaler. En schematisk överblick över ett satellitkommunikationssystem finns i figur 3.

I designsammanhang måste även utbredningsvägen tas med i beräkningen eftersom den är en avgörande faktor i alla system och avgör kvaliteten på överföringen. På land är det inverkan från byggnader och topografi som har störst betydelse och i värsta fall helt kan omöjliggöra förbindelse, men även träd och natur orsakar dämpning och fädning. Till sjöss är det framför-

allt fädning orsakad av sjöreflexer som är det största vågutbredningsproblemet, men regndämpning måste beaktas om man utnyttjar frekvenser över 10 GHz.

En gateway och en mobil markstation kan bli uppdelad i en diplexer (DIP), ett antal upconverters and downconverters (U/C and D/C), en högenergiförstärkare (HPA), en lågbrusförstärkare (LNA) och ett antal modulatorer och demodulatorer. Satelliten ser i praktiken likadan ut förutom att man än så länge inte modulerar och demodulerar signalen, utan enbart vidarebefordrar den efter genomförd frekvensomvandling och förstärkning. Denna typ av transponderar kallas bent-pipe eller transparent transponder.

Själva radiokanalen kan på sändarsidan sägas innehålla följande funktioner. Signalbehandling i basbandet vilket för mobiltelefoni är liktydigt med talkodning. Avancerade typer av talkodning ger kraftig bandbreddsreduktion från 64 kbit/s ned till 4,8 kbit/s. Sändareffekten kan då minskas proportionellt och systemet utnyttjas effektivare. Därefter sker multiplexering genom en frekvens- (FDM) eller tidsuppdelning (TDM). Slutligen sker formatering och kanalkodning för transmission i multiaccesssystem och felkorrigering koder införs. De vanligaste Multiple accesssystem är frekvens uppdelning (FDMA), tidsuppdelning (TDMA) eller kodning av signalen (CDMA) varvid hela tids- och frekvensspektrum kan utnyttjas.

Mottagaren i sin tur består av lågbrusförstärkare, nedblandare/demodulator, kanalavkodare och talavkodare.

I motsats till satellitkommunikation till fast jordstation som klarar sig med en fädning marginal på 2-5 dB (frekvensberoende) kräver mobilkommunikation en fädning marginal på 15-18 dB eftersom antennen är rundstrålande och exponerad för insignaler från alla riktningar. Exempel, sändareffekten i en liten fickterminal är normalt 0,4 watt. Vid fädning kan den behöva ökas ända upp till 7 watt, varvid man klarar av de flesta fädning minima.

Figur 3. Systemkonfiguration för mobil satellitkommunikation

I de följande avsnitten skall vi se på de parametrar som påverkar prestanda hos och konstruktion av satellitkommunikationssystem.

2.6 Länkbudget

För att bättre förstå de speciella utbredningsförhållande som gäller för radiovågor kan man dela upp signalvägen i delar och analysera varje bidrag separat. Detta brukar man kalla länkbudget.

Huvuddelen av bruset i elektriska kretsar utgörs av det termiska bruset som skapas av elektronernas rörelser. Det är alltså inte frågan om någon verklig temperatur utan bara ett sätt att beskriva brus. Det termiska bruset vid en given temperatur T (Kelvin) är proportionell mot given bandbredd B (Hz) och Boltzmanns konstant, k ($1.38E-23$ W/s/K)

$$P_n = kTB$$

Detta innebär att bruset endast beror av brustemperaturen. Brusfaktorn beror av förstärkning och frekvens och kan beskrivas som skillnaden mellan signal/brusförhållandet på ingången och utgången i en krets.

$$BF = 10 \cdot \log \left(1 + \frac{T_{in}}{T_0} \right) \text{ (dB)}$$

T_{in} anger ekvivalent inbrustemperatur och T_0 en referenstemperatur vanligen satt till 290 eller 300 K. Om man antar att vågutbredningsdämpningen L_f i ett system beror av bandbredden och förstärkningen kan brustemperaturen på utgången beräknas som en funktion av referenstemperatur och dämpning enligt följande formel:

$$T_{ut} = T_0 \left(1 - \frac{1}{L_f} \right)$$

Även här får vi ett förhållande som kan uttryckas i temperaturtermer.

Brustemperaturen i mottagaren genereras vanligen av ett antal kaskadkopplade kretsar som ömsom förstärker och ömsom försvagar signalen. Eftersom signalen successivt renodlas kommer förstärkningen och förlusterna i den första och andra kretsen att dominera varvid man vanligtvis kan bortse från kretsar av högre ordning.

Mottagarkänsligheten (G/T) beror på relationen mellan antennförstärkning och brustemperatur. Som referensantenn används en isotrop antenn, dvs. en antenn som antas stråla perfekt lika i alla riktningar. Ju högre antenntemperatur desto större förluster. Förlusterna hänför sig huvudsakligen till diplexers, kablar och fasskiftsystem.

2.7 Förhållande mellan utsänd och mottagen effekt

Även om det är praktiskt omöjligt att konstruera använder man, som tidigare nämnt, egenskaperna hos en isotrop antenn (P_I) för att beskriva effektförhållandet enligt följande

$$P_I = \frac{G_T \cdot P_T}{4\pi d^2} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

där P_T utgör till antennen tillförd effekt och d anger avståndet mellan sändare och mottagare. G_T uttrycker antennvinsten från sändarantennen i riktning mot mottagaren. $G_T \cdot P_T$ är utstrålad effekt från en ideal isotrop antenn dvs. en antenn som ger samma effekttäthet i riktning mot mottagaren som den aktuella antennen och benämns i de flesta sammanhang med den engelska förkortningen EIRP (Effective Isotropically Radiated Power). Detta är ett mycket vanligt mått på kapaciteten hos en satellitkanal. Den mottagna effekten beror dessutom på aperturarean (A) och antennverkningsgraden \mathbf{h} och ger då ett uttryck för den mottagna effekten P_R

$$P_R = \frac{G_T \cdot P_T}{4\pi d^2} \cdot A \cdot \mathbf{h}$$

2.8 Signal/brusförhållande

Radiofrekvensdelen av en markstation består i regel av antenn, vågledare, diplexer, högfrequensförstärkare och en lågbrusförstärkare. Signal/brusförhållandet (S/N_0) i själva systemet kan därför enkelt beskrivas som ett förhållande mellan utsänd effekt från satelliten i mottagarriktningen (EIRP), mottagen effekt (S), vågutbredningsdämpningen i atmosfären L_f , systemets brustemperatur (T_s) och Boltzmanns konstant (k)

$$\frac{S}{N_0} = \frac{EIRP}{L_f} \left(\frac{G_R}{T_s} \right) \frac{1}{k}$$

Sätter man samman hela kanalen får man nu ett totalt signal/brusförhållande som består av signalen och det brus som alstras i upplänken, i nedlänken och av den interferens som uppkommer till följd av andra system. Vid mobil satellitkommunikation kan nästan alltid nedlänken sägas vara den kritiska delen, eftersom risken för fädning pga av flervägsutbredning här gör sig särskilt gällande.

2.9 Signalbehandling

I många satellitsystem skiftar man frekvens på signalen när den passerar satelliten. I tex. INMARSAT-2 gör man om mottagen C-bandssignal till en L-bandssignal och i INMARSAT-3 gör man om mottagen L-bandssignal till en C-bandssignal. Konverteringen går till så att den filtrerade högfrekvenssignal blandas ned till en lägre mellanfrekvens för att därefter åter filtreras inför uppkonvertering till en ny högfrekvenssignal. Ingen ytterliggare behandling av signalen sker således i denna typ av kanal. Trenden går dock mot en alltmer sofistikerad signalbehandling av signalen ombord på satelliten, vilket minskar kraven på markstationer och därmed gör satelliten mer autonom.

2.10 Interferensproblem

Ett av de största problemen för satellitkommunikation är att man tvingas dela frekvensband med en stor mängd markbaserade system vilket ger upphov till interferensproblem mellan systemen. Interferens kan uppstå såväl mellan olika satellitsystem som mellan markstationer och gentemot andra system.

Interferens kan allmänt sett sägas vara oönskade signaler från andra system och resulterar i en höjning av brustemperaturen i systemet. För att motverka detta kan man förutom att särskilja systemen ytterliggare i frekvens (något som normalt inte går eftersom bandbredden är begränsad av fysiska lagar) vidta ett antal åtgärder. Den första åtgärden är att minska uteffekten både från markstationen och satelliten. Detta gör naturligtvis signalen svagare och därmed svårare att uppfatta. Genom att förbättra antennkonstruktionen kan en bättre antennvinst i mottagarriktningen uppnås och genom filtrering kan signaler med fel polarisation diskrimineras. En annan metod är att begränsa bandbredden och renodla signalen, då minskar risken för interferens, men också överföringshastigheten. Slutligen kan naturligtvis även satellitoperatören vidta åtgärder. Dessa är dock av mer långtgående natur och kan innebära att man ändrar satellitens position eller inklinationsvinkel.

För att i möjligaste mån undvika dessa problem har Internationella teleunionen (ITU) givit ut ett omfattande regelverk över vilka effekter och frekvenser som får användas för olika ändamål.

2.11 Utbredningsproblem

Ett mobilt satellitkommunikationssystem skall designas för att tillhandahålla kommunikation som är högkvalitativ och tillförlitlig, men ändå ekonomiskt bärkraftig för operatören. För digitala system uttrycks kvalitén i bitfelssannolikhet (BER=Bit Error Rate) vilken är beroende av signal/brusförhållandet. Tillförlitligheten uttrycks i procent och anger den del av totaltiden som länken håller tillräcklig kvalitet eller ett speciellt minsta signal/brusförhållande råder.

Utan någon annan påverkan kommer signalen att försvagas bara genom sin utbredning i rymden. Denna försvagning ökar kraftigt ju högre frekvens som utnyttjas. Skillnaden mellan frekvenser runt 1 GHz och 40 GHz är tex 30 dB eller 1000 gånger (Ohmori, Wakana & Kawase, 1998) . Mottagen effekt är alltså starkt beroende av de dämpningar som sker längs utbredningsvägen och kan uttryckas

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_R \cdot G_T}{L_f}$$

P_R är mottagen effekt som beror av utsänd effekt P_T , mottagarantennens vinst G_R som är beroende av aperturarean på antennen och våglängden, sändarantennens vinst G_T och slutligen vågutbredningsdämpningen L_f som beror av våglängd och avstånd mellan sändare och mottagare.

Inverkan av regn blir särskilt svår vid högre frekvenser (10 GHz och uppåt) och kan vid kraftiga regnfall nästan omöjliggöra kommunikation. Idag återfinns de flesta system på lägre frekvenser och på dessa har regnet begränsad inverkan. I framtiden kommer dock högre frekvenser förmodligen att utnyttjas varvid kompensation för dessa förluster måste kalkyleras in i systemet.

Vid lägre frekvenser (under 1 GHz) måste hänsyn också tas till att förluster uppkommer till följd av solens aktivitet som skapar mikrovibrationer i jonosfären och av att signalens polarisation ändras längs utbredningsvägen.

2.12 Utbredningsförhållande till sjöss

Flervägsutbredning till sjöss orsakas av radiovågor som reflekteras i sjön och tillför önskesignalen både ett faskoherent och ett fasinkoherent tillskott. Den mottagna signalen i fartygsantennen är summan av direktvågen och dessa två komponenter. Under lugna förhållande är det inga problem, då består mottagen effekt till största delen av koherenta signaler, men när sjön blir grövre ökar snabbt fädningen.

Olika forskare (Ohmori, Wakana & Kawase, 1998) har visat ett intimt samband mellan våglängd, sjöstillstånd, vågformationer och elevationsvinkeln på antennen. Hög och orolig sjö i kombination med höga frekvenser och låg elevationsvinkel ger märkbart sämre mottagningsförhållande.

För att minska dessa oönskade effekter kan man använda ett antal olika metoder. Genom uppdelning i komponenter och filtrering har man när signalen åter sätts samman minskat störningarna avsevärt. En annan metod är diversitet dvs. en uppdelning av systemets delkomponenter. Detta kan göras genom att tex. antennerna placeras på olika ställen. Även diversitet i frekvens, polarisation och vinkel kan utnyttjas. En tredje metod är att utnyttja interleaving med felrättande kodning (FEC) dvs. att meddelandet inte sänds sekventiellt utan enligt ett speciellt sändningsschema som gör att eventuella fel sprids ut på flera ord och möjliggör rättning. De relativt satta långa utsläckningstider som kan råda i marin miljö gör dock att denna teknik ensam är svår att utnyttja.

2.13 Digital kommunikationsteknik

I de första mobila satellitkommunikationssystemen användes analog teknik för överföringen. Idag används dock nästan uteslutande digitala tekniker. I mobila satellitapplikationer finns en rad svårigheter att ta hänsyn till. Förutom dämpning orsakad av atmosfären eller av meteorologiska förhållande skall man också beakta dopplerskift p.g.a. av rörelse, flervägsutbredning och fädning samt låga signal/brusförhållanden i jämförelse med fasta system. I mobila system är ett effektivt utnyttjande av både energi och bandbredd viktigt eftersom båda normalt är begränsade. Utnyttjande av energin uttrycks som nödvändig signalenergi per bit i förhållande till brusets effektäthet (E_b / N_0) för att uppnå en given bitfelssannolikhet (BER) över en kanal

som störs av normalfördelat vitt brus (AWGN). Till detta skall läggas den bitfelssannolikhet som uppstår pga. bl.a. fädning.

Bandbreddseffektiviteten är förhållandet mellan informationshastighet och bandbredd. Bandbredden är inget entydigt begrepp utan beror på i vilket sammanhang det utnyttjas. Några av de varianter som används är 99% bandbredd som anger att 99% av signalen ligger inom detta spektrum. Huvudlobsbandbredd anger huvudlobens bandbredd. 35 eller 50 dB bandbredden är användbara begrepp i samband med interferensproblematik och anger bredden på det område där energin nedgått till 35 respektive 50 dB av bärvågens. Brusbandbredden är intressant i stör eller brussammanhang och anger förhållandet mellan total signaleffekt och effekten i huvudloben. 3 dB-bandbredd är ett mycket vanligt begrepp som anger när effekten har nedgått till hälften. Slutligen kan Nyquist-bandbredden nämnas som är ett mått på hur bitfelssannolikheten i M-ärt fas- och frekvensskiftande system beror av antalet fas- eller frekvensskift.

2.14 Design av en bandbegränsad signal

En högfrekvensförstärkare kan inte konstrueras så att den blir absolut linjär. Därför kommer olinjäriteter att generera spektrala sidolober som ger oönskade modulationstillskott till signalen. Vid demodulering av signalen behövs synkronisering av bärvåg, tid och ord. I mobila system gör flervägsfädning, skuggeffekter, dopplerskift och fasbrus att signalen degraderar modemets prestanda mer än vad som orsakas av det vita Gaussiska bruset. Därför är snabb synkronisering och återsynkronisering viktiga prestanda i systemet.

I alla kommunikationssystem är bandbredden av en eller annan anledning begränsad. Mobila satellitsystem utgör inget undantag. Konstruktionen av en signal utgör alltid approximationer där man försöker optimera energin kring ett givet värde genom att utnyttja olika former på den utsända pulsen ofta baserat på olika Fourier-transformer.

Signalen består av en informationsbärande låg-pass signal som modulerar en högfrekvent bärvåg. Informationssignalen som kan anta olika värde innehåller informationsbärande bitar. Förändringen av information från en bit till en annan representeras av amplitud-, fas- eller frekvensskift hos signalen. Genom att minska avståndet mellan de olika värden som signalen

kan anta får man alltmer avancerade modulationsmetoder. Detta gör att mer information (fler bitar per symbol) kan sändas per tidsenhet.

Som tidigare nämnts är ett användbart mått på prestanda hos en datakanal bitfelssannolikheten. Den uttrycker möjligheten av att en inkommen signal som kan anta ett fast antal värden tolkas som något annat av dessa värden (symbolfelssannolikheten) än vad som avsågs vid sändaren. Man antar då att demodulatorens väljer den kurvform som ligger närmast den inkomna och åsätter signalen detta värde.

För att på ett effektivare sätt utnyttja tilldelad bandbredd och tillgänglig energi moduleras den digitala signalen på en rad olika sätt. Eftersom antalet energinivåer blir fler och kommer närmare varandra ökar bitfelssannolikheten vid oförändrad medelenergi per symbol. Skillnad märks också om signalen är koherent eller inkoherent där bitfelssannolikheten är högre hos inkoherenta system. En mycket vanlig modulationsform i mobila satellitkommunikationssystem är kvadraturfaskift, $p/4$ -QPSK där faser skiftas mellan åtta olika lägen. Spektrum för denna typ av modulation är samma som hos QPSK som bara har fyra signalvariationer. Om man har fri siktlinje mellan sändare och mottagare är koherent detektering att föredra då energin utnyttjas effektivare.

Kontinuerlig fasmodulation (CPM) är attraktivt eftersom det har både bra energi- och bandbreddseffektivitet. En annan metod som fått ökad uppmärksamhet är Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) som används bl.a. för GSM -mobiltelefonsystem på Rayleighfärdande kanaler och för digitala radio och TV-sändningar. Tekniken bygger på att man sänder informationen i parallella strömmar med lägre hastighet så att färdningseffekterna sprids ut över många bitar.

Andra vanliga modulationsformer är Gaussian-Filtered MSK (GMSK) som utnyttjar förmodulerad basbandsfiltrering med ett Gaussformat frekvenssvar, vilket ger kontinuerliga mjuka fasskift. Bitfelssannolikheten blir ungefär motsvarande QPSK.

2.15 Tekniker för att kontrollera fel

Felrättning kan åstadkommas genom begäran om omsändning, automatic repeat request (ARQ), felrättning, Forward Error Correction (FEC) eller en kombination av dessa båda. Vid ARQ delar sändaren upp informationsbitarna i block med bestämd längd, som kodas innan de sänds iväg. Om mottagaren inte upptäcker några fel skickar den en bekräftelse (ACK) på att överföringen var riktig. Mottages däremot något fel skickas ett meddelande om detta (NACK) och en begäran om återutsändning av det felaktiga blocket görs. I huvudsak finns tre typer av ARQ; ”stanna och vänta”, ”gå tillbaka” och ”begäran om selektiv repetition”. ”Stanna och vänta”-metoden är olämplig i satellitapplikationer då väntetiden blir nästan en halv sekund efter varje block p.g.a. tidsfördröjningen till satelliten och tillbaka. I ”gå tillbaka”-metoden börjar man om vid det felaktiga blocket och sänder därefter vidare alla efterföljande block. Den tredje och bästa metoden för satellitapplikationer är selektiv repetition av felaktiga block.

För att överhuvudtaget upptäcka fel krävs att man kodar sitt meddelande på ett eller annat sätt. Denna kodning som kallas felrättande eller felupptäckande skall skiljas från källkodning som handlar om att göra om en analog signal till en bitström av ettor och nollor. Två huvudtyper av felupptäckande/rättande kodning kan urskiljas. Den första är blockkodning där bitströmmen delas in i block om k informationsbitar som kodas i ett block av n symboler. Den andra typen av kodning är faltningskodning där informationsbitarna kodas kontinuerligt utan avbrott i bitströmmen.

För att överhuvudtaget kunna skilja två kodord åt måste dessa vara till viss del åtskiljda.

Skillnaden mellan två kodord a och b , benämns Hammingavstånd (d_H) och kan uttryckas

$$\text{som } d_H(a,b) = \sum_{i=1}^n d_H(a_i, b_i)$$

Det minsta värdet på avståndet mellan två olika kodord benämns minsta Hammingavstånd.

Om u fel skall kunna upptäckas måste det minsta Hammingavståndet vara $d_H^{\min} = u + 1$ och för att kunna korrigera en överföring där e st fel uppstått vara $d = 2e + 1$. Om en sådan kod består av n bitar med k informationsbitar kallas den (n, k, d) kod. Förhållandet k/n kallas kodhastighet och benämns r . Matematiskt löser man felrättning och korektion genom vektor och matrisoperationer.

Sedan Shannon presenterade sin informationsteori 1948 och Hamming beskrev de första blockkoderna 1950 har kodningsteoretikerna ständigt strävat efter att skapa bättre och bättre koder. Exempel på sådana är koder byggda kring Galois fält, Cyklisk kodning där informationsord och kodord skiftas cykliskt, BCH-kodning (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) som är cykliska koder uppbyggda kring speciella polynom. Reed-Solomon koder är ickebinära BCH koder och lämpar sig därför för dataöverföringssystem med fler än två signalalternativ.

Faltningsskodning skiljer sig från blockkodning så tillvida att informations- och kontrollsymboler blandas kontinuerligt utan uppdelning i oberoende kodord. En fördel med detta är att ingen synkronisering till blocken behövs.

Ovanstående metoder innebär att om man vill bibehålla datahastigheten när kodning tillförs informationen så ökar bandbredden. I system där man har tillgång till begränsad bandbredd är det därför önskvärt att modulation och felkorrigering sker i samma steg. Exempel på denna typ av kodning och modulation är Trellis-kodning.

2.16 Digital kodning av tal

Talförbindelser ställer låga krav på datahastigheten, men höga krav på fördröjningen. Redan fördröjningar på under en halv sekund upplevs som mycket besvärande. Svårigheter med fädning och flervägsutbredning försvårar förhållandena ytterligare. Kodning av tal kan grovt indelas i två grupper, vågformskodning där man försöker återskapa den analoga signalen så bra som möjligt och parameterkodning där man använder en modell för tal. Vid mottagaren återskapas sedan talet med hjälp av de värden som kommit från sändaren enligt den valda modellen.

Några av de vanligaste kodningsprinciperna för taltrafik är PCM (Pulse Code Modulation) som kräver en överföringshastighet på 64 kbit/s och ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) med överföringsbehovet 32 kbit/s. ADM (Adaptive Digital Modulation) är en vanlig militär kodmetod som medger överföringshastigheter på 16 kbit/s. Vidare bör nämnas Linear Predictive Coding (LPC) och Multipulse-Excited Linear Prediction Coding (MPC) som ger en syntetisk form av tal. LPC och MPC kan producera högkvalitativt tal ner till bit-hastigheter på 9,6 kbit/s. Under denna hastighet sker dock en markant kvalitetsförsämring.

Det finns dock kodningsprinciper för ännu lägre bithastigheter en av dem är Code-Excited Linear Prediction (CELP).

2.17 Multiple Access Tekniker

Generiskt sett finns det tre typer av satellitnätverk, punkt-till-punkt, punkt-till-grupp och grupp-till-punkt förbindelser (Elbert, 1999). Multiple Access handlar om att utnyttja satellitkanalen så effektivt som möjligt genom att dela upp frekvens, bandbredd, energi, tid och position mellan användarna. Det finns tre huvudprinciper för uppdelning av kommunikationskanalen. Den första är frekvensdelning (FDMA) i vilken varje bärvågsfrekvens innehåller en kanal. Den andra är tidsdelning (TDMA) där varje sändare får ett tidsfönster med jämna mellanrum till sin trafik. Slutligen kan trafiken kodas (CDMA) varvid alla användare delar på tid och bandbredd. Vilken metod som väljs beror på vilken trafik som nätverket skall hantera.

Strategin för hur man får tillgång till kommunikationskanalen kan lösas genom förbestämmd tilldelning, tilldelning på begäran och slumpmässig tilldelning. I förbestämmda kanaler är tilldelning av kanaltid oberoende av trafikfluktuationer, en metod som är lämplig för förbindelser med en stor andel fast trafik. I mobilsystem däremot kommunicerar inte användarna kontinuerligt och därför är detta utnyttjande ett slöseri med resurserna. Vid Demand Assignment Multiple Access (DAMA) används kanalen dynamiskt och tilldelas användarna efter behov. Den tredje metoden att slumpmässigt utnyttja kanalen förutsätter att man kan känna av när kanalen är ledig och dessutom har resurser för att sända om trafik som krockar. Detta kan lösas genom databuffring och sändningsschema baserade på den så kallade ALOHA-algoritmen.

Den vanligaste konfigurationen för en satellitkanal är att man delar upp bandbredden tidsmässigt och i förväg meddelar när man tänker utnyttja den. På detta sätt skapas ett system av "Slot-tider" på kanalen. Överföringen har formen av antingen en konstant ström eller pulsad signal. Ursprungligen var kanalerna analoga, men numera används nästan uteslutande digitala kanaler. En given kanal har kapaciteten 64 kbit/s vilket är lämpligt för telefoni eller för ett antal datakanaler med låg hastighet. För att skapa utrymme för datatrafik har man i USA och Europa byggt ihop kanalerna i hierarkier Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH), i USA kallad T1 med kapaciteten 1544 kbit/s eller 24 individuella 64 kbit/s kanaler. I Europa heter hierarkin E1 och klarar av 2048 kbit/s eller 30 st. 64 kbit/s kanaler.

Större bandbredd och flexibilitet erbjuds genom Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Här kan en satellit erbjuda 16 transpondrar med 16 datakanaler, var och en på 28Mbit/s, vilket ger en kapacitet på ända upp till 160 TV-kanaler. För att uppnå optimalt utnyttjande av bandbredden krävs noggrann planering eller att man använder dynamisk bandbreddsallokering. Genom att använda statistisk multiplexering byggd kring kanalutnyttjandet reducerar man maxkapaciteten men utnyttjar bandbredden flexiblare. Det finns i huvudsak två metoder att uppnå detta Time Slot Reassignment (TSR) eller packet switching. TSR innebär att användaren får tillgång till kanalen när han behöver den och inte hela tiden. Pakettrafik innebär att avsändarens meddelande packas i ett eller flera paket som ges en tidsprioritet och sänds så snart kanalen är ledig.

3 Atmosfärsdämpning och störsäkerhet

Av alla mer eller mindre fantasifulla hot som målats upp mot satellitfunktionen är inverkan av atmosfären och de meteorologiska förhållandena tillsammans med störning de mest realistiska begränsningarna av kommunikationsmöjligheterna. Hoten från laservapen, elektromagnetisk puls, högenergivapen, rymdattacker, kapning och nedplockning av satelliten kan förmodligen tonas ned efter det kalla krigets slut och ter sig i dagsläget mindre sannolika.

3.1 Atmosfärsdämpning

Dagens och morgondagens satellitsystem kommunicerar huvudsakligen med centimeter och millimetervågor det vill säga i frekvensområdet 1-300 GHz. Redan i undre delen av detta frekvensspektrum begränsas transmissionen av regn, dimma eller moln och ju högre upp man kommer i frekvens desto större blir påverkan.

Transmissionsdämpning (Asp, 2001) på grund av gaser i atmosfären har i regel endast betydelse vid frekvenser över 10 GHz och beror på absorption från syre- och vattenmolekyler. Syre har ett brett absorptionsband runt 60 GHz, isolerade absorptionslinjer nära 119 GHz samt flera vid frekvenser över 300 GHz. Vattenånga däremot har en svag absorptionslinje nära 22 GHz och flera starka linjer vid 183 GHz (infraröda området). Dessa band brukar benämnas absorptionsband. Mellan 30-40 GHz och mellan 90-100 GHz finns istället område

med lägre atmosfärsdämpning (fönster). Beroende på tillämpningsområde är både absorptionsbanden och atmosfärsfönstren intressanta ur kommunikationssynpunkt. Dämpningen från vattenånga och syre kan betraktas som en grunddämpning till vilken man sedan adderar dämpning på grund av nederbörd.

3.2 Störsäkerhet

Störskyddsförhållande

En satellitförbindelse har ett antal egenskaper som avgör om störning skall lyckas eller ej. Trafiken sker på höga frekvenser, vilket möjliggör användning av smala lobar på fartygsantennerna. Därmed är det ytterst svårt för en störare att komma åt huvudloben. Satellitens antenner å andra sidan täcker ett stort geografiskt område inom vilket man är exponerad för störare. Vid störning mot satelliten gäller samma avståndsrelation för störare och nyttsignal. För satelliter utan speciellt störskydd blir konkurrensen mellan störare och nyttsändare i de flesta fall en kamp om sändareffekt.

Vid nedlänkstörning har störaren ett klart övertag över satelliten avseende avstånd, störaren är ju normalt mycket närmre mottagaren och störsituationen avgörs av mottagarantennens sidolobförhållande och dess förmåga till undertryckning.

Vid upplänkstörning transponeras störsignalen i likhet med nyttsignalen till nedlänken om inte satelliten har någon signalbehandling. Följden blir att signal/störförhållandet från upplänken överförs till nedlänken. Riktigt höga störsignaler kan i värsta fall orsaka mätnad i satelliten med intermodulation och effektbegränsning som följd.

Vad gäller varseblivning av störningen kan sägas att en störare riktad mot en terminal normalt inte kan avgöra om störningen ger verkan medan en störare riktad mot satelliten genom avlyssning av satellitens nedlänk kan avgöra om störningen ger verkan.

Satelliten

Trafikkanalen i civila system är dimensionerad efter krav på kapacitet och användning. Dessa krav avgör hur många transpondrar satelliten utrustas med, hur stor bandbredd och uteffekt dessa tilldelas, antennernas täckningsområde etc. System som är dimensionerade för enkla

hemmaparaboler har ofta färre transponders med högre uteffekt, emedan system som vänder sig till tex. TV-bolag har fler transponders med lägre uteffekt i varje.

Alla civila kommunikationssatelliter har antenner som ger stora täckningsområden. Hela Europa kan då tex. täckas av ett och samma system och satellitens antennkonfiguration har anpassats efter detta. Ur störsäkerhetssynpunkt är täckningsområdet väsentligt med avseende på exponeringen mot störning riktad mot satelliten. Störare placerade inom täckningsområdet kan utsätta satelliten för upplänkstörning i dess huvudlob. Störning av satelliten kan antingen ske direkt i kommunikationskanalen eller i kontrollkanalen. Den kan påverka alla aktiva funktionsblock i satellittranspondern eftersom dessa har ett begränsat dynamikområde och är konstruerade för att klara ungefär de signalnivåer som genereras av markterminalerna. För höga signalnivåer, från tex. en störare, innebär mättnad av slutsteget och leder till effektbegränsning av uteffekten på nyttsignalen. Vid mycket höga signalnivåer kan total mättnad uppstå och ingen utsignal erhålls.

Kontrollkanalen är avsedd för överföring av kommandon till satelliten och för inmätning och justering av satellitens position. Detta sker från speciella kontrollstationer som den svenska i Kiruna. När satelliten är på plats kan den dock klara sig i veckor utan att kontrollkanalen utnyttjas. Kontrollsignalen är ofta kodad på ett mycket avancerat sätt så möjligheterna att ge felaktiga styrkommando kan betraktas som små (SAAB Ericsson Space, 1995).

För LEO-systemen är störskyddssituationen än sämre. Dessa system är dimensionerade för att ta emot låga signalnivåer från mobila terminaler. Det innebär att satellitmottagningen kan störas från markbaserade störare med måttlig sändareffekt. De mobila terminalerna använder normalt bredlobiga antenner, vilket innebär att dessa också är exponerade för störning. Störtåligheten hos LEO-system kan ungefär jämföras med GPS.

Markstationens antenn

Antennen är självklart en viktig enhet i störsammanhang. Större antenner ger större effekttäthet inom loben i förhållande till övriga riktningar effekt, vilket är värdefullt i konkurrens med störare som är riktade mot satelliten. Dess sidolobsegenskaper är av stor betydelse för termi-

nalens möjlighet att klara störning riktad mot den egna mottagaren. Antennerna bör därför konstrueras för att erhålla bästa möjliga sidolobsförhållande.

3.3 Motverkan mot störning

Det finns ett antal metoder att komma till rätta med störproblemen. Enklaste sättet att åstadkomma störskydd är användning av bandspridning (SAAB Ericsson Space, 1995). Därigenom kan man få en störundertryckning som approximativt motsvarar förhållandet mellan tillgänglig transponderbandbredd och utnyttjad datatakt. Tåligheten blir således relaterad till egen sändareffekt samt till relationen mellan tillgänglig bandbredd och den använda datatakten. Sådan frekvensspridning kan ske med hjälp av DS-CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) eller med frekvenshoppning där frekvensen snabbt skiftas på ett till synes slumpmässigt sätt. Båda metoderna innebär att signalenergin sprids över största möjliga tillgängliga bandbredd. Frekvenshoppningen kan göras inom eller mellan transpondrar på en och samma satellit men också mellan transpondrar på satelliter i flera olika positioner. Genom sådana metoder blir det svårare att detektera och störa ut signalen. För att mottagaren snabbt skall kunna switcha mellan olika satelliter är det dock en förutsättning att man använder sig av fasstyrda antenner.

Genom att höja uteffekten kan man erhålla ökat skydd mot upplänkstörning. I de flesta system där transpondern delas mellan flera användare är dock sändareffekten maximerad.

Genom att sänka förstärkningen i transpondern kan man begränsa den effekt som når effektförstärkaren och därmed öka taligheten för starka störsignaler. I vissa transpondrar regleras förstärkningen automatiskt så att utsignalen hålls konstant, vilket kallas Automatic Level Control (ALC). ALC används oftast när man vill ha en fast effektnivå till alla användare som tex. vid TV-utsändning. Den andra metoden innebär att man väljer förstärkningsnivå från marken och låter därefter satelliten automatiskt hålla signalnivån konstant s.k. Automatic Gain Control (AGC). Detta arbetsätt används oftast vid punkt till punkt förbindelser och för transpondrar som delas mellan flera användare. Ur störtaålighetssynpunkt har ALC-moden den fördelen att satellitens tillgängliga sändareffekt alltid kan utnyttjas vilket ger största möjliga marginal mot nedlänksstörning. Den gör också att en störare hindras från att driva effektförstärkaren i mättnad. Om AGC används vill man använda lägsta möjliga förstärkning med tan-

ke på upplänkstörning. Det ger dock sämre tålighet mot nedlänkstörning. Om en civil transponder delas av flera användare används AGC med en förutbestämd förstärkningsnivå. Det innebär att terminalerna får dimensioneras efter detta. Det finns en maximal sändareffekt relaterad till använd kanalbandbredd och den totala sändareffekten delas mellan transponderns användare i proportion till avtalad bandbredd.

Slutligen bör framhållas att transpondrar i dagens satelliter är transparenta vilket innebär att ingen annan förändring av signalen sker i satelliten mer än att man byter frekvens, vilket gör att användaren själv har möjlighet att välja modulationstyp och kodning.

4 Antenner och fartygssystem

4.1 Inledning

En fast monterad satellitmottagare ställer efter den inledande inriktningen mycket små krav på antennstabilisering. Med undantag för runtstrålande antenner kräver däremot en mobil satellitmottagare kontinuerlig styrning av antennen för att kommunikation skall fungera utan avbrott. I detta kapitel kommer därför tekniken kring följning av satelliten och styrning av antennen att beskrivas.

4.2 Mekaniska och elektriska egenskaper

Det är närmast självklart att mobila antenner måste vara kompakta och lätta. Olyckligtvis har en kompakt antenn två stora nackdelar, liten antennvinst och stor lobbredd. Antennvinsten är nära kopplad till lobbreden så därför kommer en lågförstärkande antenn att få stor lobbredd. Eftersom antennvinsten teoretiskt bestäms av de fysiska dimensionerna i förhållande till våglängden innebär en mindre antenn automatiskt minskad förstärkning.

En annan faktor är att den begränsade tillgången på batterikraft gör det mycket svårt att konstruera en lättrörlig mobilantenn med tillräcklig sändareffekt. Denna nackdel kan dock kompenseras genom stora antenner och kraftiga förstärkare på satelliten. En kraftfull satellit tillåter alltså kompaktare och lättare jordantenner.

En ytterligare nackdel är att en bredlobig antenn riskerar att sända iväg och ta emot oönskade signaler, vilket orsakar interferens med andra system. Även fädning i systemet beror ytterst på lobbredden.

De flesta av dagens och morgondagens satellitsystem är konstruerade för frekvenser på 1.6/1.5 GHz och på 2.6/2.4 GHz . I framtiden kommer förmodligen dock även betydligt högre frekvenser att utnyttjas, upp mot 60 GHz. För att täcka sändar- och mottagarkanal behövs en bandbredd på ca 7 % i L-bandet och ända upp till 40 % i Ka-bandet. Det är dock mycket svårt att konstruera antenner för både sändning och mottagning som har en frekvensbandbredd som överstiger 10%. För att undvika alltför stora polarisationsförluster utnyttjas normalt cirkulär polarisation i mobila satellitsystem. I verkligheten är dock inte polarisationen perfekt cirkulär utan lite elliptisk vilket leder till polarisationsförluster. Normalt anses dock satelliterna ha så effektiva antenner att man bortser från dessa förluster. När det gäller sidolobsundertryckningen måste denna vara så effektiv att interferens med andra kommunikationssystem kan undvikas.

Erforderlig antennförstärkning räknas fram genom en länkbudget som tar hänsyn till satellitens kapacitet och kanalens kvalitet som i sin tur beror på godhetstalet och de utstrålade effektvärdena hos satelliten och markstationen. För äldre analoga system som INMARSAT-A måste förstärkningen vara ungefär 24 dBi, medan man i system som utnyttjar digital teknik och lägre datahastigheter som tex. INMARSAT-C kan nöja sig med 0-4 dBi.

Antennloben måste klara att täcka den övre hemisfären oavsett plattformens rörelse. Runtstrålade antenner har den fördelen att ingen speciell följning av satelliten erfordras. Högförstärkande antenner å andra sidan måste hela tiden följa satelliten eftersom antennloben är liten. Dimensionerande för följekapaciteten är således antennens lobbredd och plattformens rörelse. Riktningssattnen med smala lobar måste följa satelliten både i elevation och sida. I allmänhet är kravet på följnoggrannhet ungefär 1 dB som är den noggrannhet som krävs för halva vinkeln i 3dB-bandbredden.

4.3 Antennegenskaper

Den förmåga antennen har att förstärka en sänd eller mottagen signal i en viss riktning kallas antennvinst (G). Denna uttrycks oftast i relation till en perfekt runtstrålande antenn, en isotrop antenn. Det finns ett generellt samband mellan den fysiska storleken på antennen och dess antennvinst som för en parabolantenn kan uttryckas

$$G_a = \left(\frac{pD_p}{\lambda} \right)^2 h$$

där D_p är diametern på reflektorparabolen, λ är våglängden på signalen och h antennens effektivitet. Av detta kan man dra slutsatsen att små antenner ger låg förstärkning vid längre våglängder och att samma antenn ger bättre förstärkning ju högre frekvens som utnyttjas, vilket alltså beror på att aperturarean ökar i förhållande till våglängden. Som exempel kan användas en antenn med diametern 1 m i våglängdsområdet kring 1.5 GHz, vilken ger en förstärkning på ungefär 21 dBi. Detta är ett normalvärde för fartygsantenner i INMARSAT-A systemet.

Storleken på en reflektorantenn är villkorat av att antennreflektorn skall vara så stor (flera våglängder) att normal optisk strålgång gäller. Detta medför att antennens storlek blir beroende av det våglängdsområde man väljer (Ahlin, 2001). Den effektiva antennarean hos en parabolantenn beror på reflektorns kvalitet (avvikelse från perfekt parabolform) samt på det matarelement som används. Allmänt kan sägas att den effektiva antennarean A_m och parabolens öppningsarea A_p relaterar sig som

$$A_m = hA_p = h \frac{pD_p^2}{4}$$

där h är antenneffektiviteten och D_p är parabolens diameter. För en bra parabolantenn ligger h runt 0,5 (Ahlin, 2001).

Lobens utseende bestäms huvudsakligen av antennens storlek. Ju större antenn i förhållande till våglängden desto smalare lob. Lobens utseende beskrivs med ett lobdiagram där man presenterar förhållandet mellan huvudlob och sidlob. Ju bättre antennen är desto bättre förmår den undertrycka sidloberna.

4.4 Följning av satelliten

Att följa satelliten oberoende av plattformens rörelse är nödvändigt för system som är byggda kring riktantennor. Följesystemet behöver två funktioner, lobstyrning och följebevakning.

Det finns två typer av följesystem, mekaniska och elektriska. Ett mekaniskt följesystem är uppbyggd kring mekanisk styrning av själva antennen. I de elektriska systemen (fasstyrda antenner) styr man loben elektriskt och antennen är fixerad till plattformen. Även kombinationer av dessa styrmetoder förekommer. I tabell 5 jämförs för- och nackdelar mellan mekanisk och elektronisk styrning.

Tabell 5. Jämförelse mellan mekanisk och elektronisk styrning.

	Fördel	Nackdel
Mekanisk styrning	Enkel att tillverka Loben kan täcka stort område Bra förstärkningsförhållande mellan huvudlob och sidolober	Låg tillförlitlighet Låg avsökningshastighet Stor och tung antenn Låg rikthastighet
Elektronisk styrning	Lätt och liten Hög avsökningshastighet Hög tillförlitlighet	Litet täckningsområde per antennelement Polarisationsförluster vid axial rörelse

Följealgoritmen kan i sin tur baseras antingen på data från satelliten eller helt baseras på system som övervakar plattformens rörelse i relation till dess position och kurs. Skillnaden är alltså om signaler från satelliten används eller ej. Den öppna loopen räknar ut följeparametrarna med hjälp av positionen på satelliten och farkosten utan att använda signaler från satelliten. Detta är framförallt användbart i system där stor fädning eller t.o.m. utsläckning av signalen är sannolik tex. i fordonsmonterade system. Den slutna loopen å andra sidan som använder sig av en signal från satelliten är användbar i marina applikationer och främst då på större fartyg . En jämförelse mellan de två följeprinciperna finns i tabell 6.

Tabell 6. Jämförelse mellan de två följeprinciperna.

Följning	Följeprincip	Fördel	Nackdel
Open-loop	Räknar fram följepunkten med hjälp av gyro och sensorer	Är inte beroende av omständigheterna Stabil mottagning av signalerna	Kräver sensorer och referensdata Kräver en noggrann positionsangivelse
Closed-loop	Söker maximal utsignal från satelliten	Kräver ingen positionsangivelse Kräver inga sensorer eller referensdata	Måste ha en utsignal för att överhuvudtaget påbörja följning Är beroende av omständigheterna Medför signalvariationer

Vilken styr och följeprincip man kombinerar ihop och väljer beror på vad systemet skall användas till. I marina applikationer är alla kombinationer möjliga.

4.5 Antennstabilisering

Ett fartygs rörelse kan sägas bestå av sju olika komponenter; roll, pitch, yaw, surge, sway, heave och turn. Turn – vridning, orsakas av medvetna manövrar hos fartyget. De andra sex uppkommer till följd av sjöhävning. Surge, sway och heave är accelerationer och uttrycks normalt i G, de andra är vinkelförändringar som uttrycks i grader. För att kompensera för detta och möjliggöra följning av satelliten installerar man olika typer av stabiliseringssystem som i mer avancerade fall bygger på fyra frihetsgrader och i enklare system bara roterar kring två axlar.

Figur 4. De sju komponenterna i ett fartygs rörelse

4.6 Mobila stationer

För att få någon uppfattning om uppbyggnad och egenskaper hos ett satellitsystem skall vi studera INMARSAT som är det största och mest utbredda systemet för mobil kommunikation. Det har funnits i snart tjugo år och är inne på sin fjärde generation. De olika versionerna lever dock kvar och de olika generationerna tillhandahåller olika typer av tjänster.

Ett fartygssystem består i huvudsak av två delar, utrustning på däck (ADE) och utrustning under däck. Utrustningen ovan däck består av antenn, vridbord, lågbrusförstärkare (LNA), högeffektförstärkare (HPA), en diplexer (DIP), stabiliseringsutrustning och en antennkontrollenhet. Under däck återfinns huvudenheten som innehåller diplexer, kraftenhet, modulator, demodulator, basbandsprocessorer och interface gentemot bla fartygets gyro. Dessutom finns datorenhet, display, telefonlur, fax och skrivare under däck. Tekniska data för fartygssystemet har definierats som en standard för INMARSAT-A. De viktigaste är mottagarens godhetstal som skall överstiga -4dBK , vilket ger en förstärkningsgrad på ungefär 24 dBi och en antenn-diameter på ca 1 m.

Både i INMARSAT-A och B utnyttjas parabolantennor med förstärkning på 20-24 dBi eftersom de har en enkel utformning och bra lobeffektivitet. Följekapaciteten är viktig pga. fartygets rörelse och den relativt smala 3-dB bandbredden, som är ungefär 10 grader. Antennen är normalt ganska stor och har normalt fyra frihetsgrader. Den är ansluten till referensdata som accelerometrar, gyro och nivåsensorer för att känna av fartygets rörelse, men man använder även satelliten som referens i ett closed-loop system. På detta sätt uppnås följnoggrannheter på 0.1 grad.

INMARSAT-C togs fram för att kunna tillhandahålla datakommunikation till så små terminaler att de kan bäras eller monteras på fordon eller på vilket fartyg som helst. Systemet har en liten, lätt, enkel omnidirektionell antenn som kan monteras i stort sett var som helst. Huvudenheten är kompakt och väger bara ca 4 kg. Användargränssnittet är valbart så att man antingen använder en INMARSAT-terminal eller sin egen dator. Överföringen bygger på store-and-forward teknik, vilket innebär att markstationen tar emot och lagrar meddelandet från fartygsstationen för att därefter distribuera informationen till mottagaren. Överföringshastigheten från satelliten till mobilterminalen är 600 bit/s. Signalen är kodad och interleaving används för att minska inverkan från fädning, något som inte kan undvikas i en runtstrålande

antenn. Precis som i A och B-versionerna finns det fyra trafiktyper i systemet. Ytterligare fakta om systemet finns i bilaga.

För att kunna erbjuda högkvalitativ, effekt- och frekvenssnål digital kommunikation med små terminaler presenterades INMARSAT-M 1993. Till skillnad från system C finns också taltrafik från små handburna terminaler. Systemet kräver så lite utrymme att det kan installeras praktiskt taget var som helst. Även solcellsdrivna versioner som kan användas för tex. nödtrafik finns på marknaden. Taltrafik överförs efter digital kodning. Systemet kräver ett godhets-tal på -10dBK och EIRP på 27 respektive 21 dBW beroende på vald uteffekt.

Antennen till systemet väljs efter användningsområde. Den vanligaste fartygsantennen är en liten (40 cm) parabolantenn. En så liten antenn får dock svårt att täcka frekvensbandbredden på ca 8 % och man använder därför ofta två oberoende reflektorer. På detta sätt ökas antennis kapacitet och förstärkningen ökar med ca 1 dB utan att sidoloberna påverkas.

Tre olika trafiktyper finns. Överföringshastigheten för data och fax är 2.4 kbit/s och för taltrafik 6.4 kbit/s.

4.7 Fasstyrda antenner

En elektroniskt styrbar antenn eller fasstyrd antenn kännetecknas av att den består av ett antal strålningselement monterade i form av en array på en plan eller krökt yta. Genom elektroniska fasändrare kan fasrelationen ändras mellan intilliggande element, som genom en styrdator kan styra antennloben i önskad riktning. Genom den elektroniska styrningen kan ändringar av lobvinkel utföras mycket snabbt så att den automatiska låsningen mot kommunikationssatelliter, geostationära eller i polär bana, fungerar även vid snabba manövrer med exempelvis ett flygplan.

Antalet antennelement varierar beroende på lobvidd och förstärkning från några få till flera hundra. Antennförstärkningen varierar med utstyrningsvinkeln av loben. Högst förstärkning uppnås då loben är vinkelrät mot antenntyten för att successivt minska vid lutning då den projicerade antenntyten minskar. Dessutom minskar elementarstrålarnas förstärkning med utstyrningsvinkeln. Detta kan dock kompenseras genom konstruktionen av antennkonfigurationen.

Idag finns det fasstyrda antenner för användning i civila flygplan för kommunikation i INMARSAT-systemet på L-band. Som exempel kan nämnas att sådana antenner idag är standard på de flesta långdistansflygplan.

Med högre frekvenser minskar dimensionerna på antennerna samtidigt som störfastheten ökar. Dock är det vissa nackdelar med exempelvis Ka-bandet jämfört med Ku-bandet, bla är atmosfärsdämpningen av signalerna dubbelt så hög. Det innebär att fler antennelement behövs, vilket ökar kostnaden.

Utvecklingen av fasstyrda antenner har letts av Boeing (FMV 21 720:6798/00, 2000) som tillsammans med de amerikanska försvarsgrenarna utvecklat antenner. Antenner för kommunikation med satellitsystemet Milstar finns idag på bombflygplanet B-2 och ett antal enheter inom US Navy. Som en direkt följd av den militära utvecklingen har Boeing också tagit fram antenner för civilt bruk, främst avsedd för TV-mottagning.

Storleken som erfordras på mottagarantenn är proportionell mot den datahastighet som önskas. Eftersom antennen är moduluppbyggd kan storlek väljas efter önskemål och behov, tex. uppnås en datahastighet på 64 kbit/s med endast 8 antennelement. Storleken på hela panelen blir då endast 4x9 cm. Önskas en datahastighet på 20 Mbit/s krävs 1024 element och hela panelens storlek blir även då måttliga 45x47 cm. Avgörande för antennstorleken är dock antennlobens bredd. Satelliterna ligger tätt i den geostationära banan och därför krävs smala lober. Ju smalare lob som erfordras desto fler antennelement krävs. Det blir alltså störningsrestriktioner som blir avgörande för antalet antennelement.

Raytheon är en annan stor tillverkare av fasstyrda antenner, främst för Ka-bandet. Företaget har främst levererat antenner till amerikanska försvaret. Ofta har antennerna dock haft en kombination av elektronisk fasstyrning och mekanisk scanning.

Bell Aerospace tillverkar en fasstyrd L-bandsantenn till flygplan för kommunikation med INMARSAT. Även franska Dassault Electronique och amerikanska Rockwell-Collins gör fasstyrda L-bandsantenner för INMARSAT.

Sammanfattningsvis kan alltså fördelarna med fasstyrda antenner sägas utgöras av höga prestanda, små antenner, multipla lättroliga lobar och relativt låg kostnad per modul (FMV 21 720:6798/00, 2000). Den stora nackdelen är dock att modulkostnaden trots allt än så länge medför ett högt totalt antennpris.

4.8 Leverantörer

Satellitutrustning är idag hyllvara. I princip kan man gå ut på marknaden, göra en kravspecifikation infodra anbud och få systemet levererat och installerat på plats ombord, men i enlighet med normala rutiner vid inköp av försvarsmateriel bör FMV upphandla satellitsystem mot Försvarsmaktens kravspecifikation. Förutom kunskap om satellitsystem har man även kunskap om tillverkare och operatörer. Dessutom har man en god kunskap av befintliga installationer och konstruktioner ombord vilket underlättar installation och integration av systemen.

Studerar vi marknaden för mobila system kan leverantörerna i princip indelas i tre kategorier. För det första är det de större telekommunikationsföretagen. Dessa säljer i princip det system du vill ha och är ombud för de flesta leverantörer och tillverkare. Den andra kategorin är tillverkarna av hårdvara och mjukvara, som säljer sina egna system. Den tredje är konsultföretag som har avtal med både ett antal operatörer och ett antal leverantörer av system. Dessa syr ihop systemlösningar efter kundens önskemål och kan alltså skraddarsy den lösning som önskas.

Bland konsultföretagen kan svenska Satpool nämnas. Exempel på tillverkare och leverantörer med verksamhet i Sverige är Seatel, Invsat och Lyth. Telekommunikationsföretagen slutligen kan utgöras av tex. de stora koncernerna Telia och Telenor.

4.9 Kostnader

Det är svårt att utifrån marknadspriset på enskilda civila system bedöma var priset skulle hamna vid en eventuell större affär. För att få någon kostnadsuppfattning kan en jämförelse med redan inköpta system ändå vara relevant.

Till HMS Belos har inköps mottagare för 64 kbit/s satellitkommunikation i INMARSAT-B och satellit-TV mottagare. Tillsammans med datainterface och diverse övrig utrustning hamnade totalpriset på ungefär 210.000 SEK. Leverantör var Telia.

TV-mottagare till HMS Orion, dvs. ett system utan sändningsmöjligheter kostade 90.000 SEK. Leverantör i detta fall var Lyth AB.

Den mest relevanta leveransen hittills till svenska flottan är det system, bestående av en mekaniskt styrd antenn, mottagarterminal och datorenhet som inköptes till HMS Carlskrona för prov via SWEMILSAT. Efter anbudsinfordran från marknadens fem kända leverantörer offererade Invsat och Seatel var sitt system. Systemen var i sig inte helt jämförbara då de var anpassade för olika satellitsystem, men båda hamnade runt 90.000 USD, dvs. knappt en miljon SEK och torde vara mest lika det system som efterfrågas.

5 Satellitsystem och tjänsteutbud

5.1 Satellitkommunikationssystem

Världens första kommunikationssatellit var den amerikanska militära DSCS-1 som sändes upp redan 1966. Från mitten av 60-talet till början av 70-talet skedde en enorm expansion av det militära utnyttjandet av rymden. Den rent civila och kommersiella rymddriften följde efter, men tog inte riktig fart förrän i början på 70-talet.

Idag är det tvärtom så att de flesta länder med kommunikationssatelliter använder dessa för civilt bruk. Stormakterna och ett antal mindre regionala stormakter har satelliter för rent militär kommunikation. Någon större andel samutnyttjade satelliter finns inte, men i Frankrike och Ryssland finns några sådana system.

5.2 Internationell Koordination

Fördelning av frekvenser och samordning i utnyttjandet av rymden sker idag genom Internationella teleunionen (ITU) vilket är ett FN organ med just samordningsuppgifter. ITU grundades 1932 men omorganiserades 1992 genom bildandet av WRC (World radio conference).

Alla satellitkommunikationssystem blir numera godkända av ITU-R (IUT-radio) där registre-

ring av systemets parametrar såsom banprofil och frekvens sker. Utnyttjande av frekvenser utanför tilldelning är endast tillåten i mycket begränsad omfattning och då främst för forskningsändamål.

5.3 Kommersiella system

Antalet civila system och operatörer kan vid en första anblick te sig ganska oöverskådligt. Satelliternas användningsområde och täckningsområden varierar dock vilket gör att valmöjligheten ändå måste anses ganska begränsad för varje geografiskt område. Av systemen kan idag bara tre stycken kommersiella system anses ha global täckning, Inmarsat, Iridium och Orbcomm, alla andra system är regionala.

Ett av problemen med nya system är att det börjar bli ont om utrymme inom vissa frekvensområden. Behöver man större bandbredd får man söka sig högre upp i frekvens, varför de planerade Multi-Media Satellite-systemen (MMS) kommer ligga på 27,5-50 GHz och använda sig av satelliter på mycket låg höjd. På detta sätt kan man erbjuda operatörerna bandbredder på upp till 1000 MHz för överföring av tex Internet med hög hastighet, datanätverk, samt video och multimedia med extremt god kvalitet. Här förväntas den största expansionen och den största omsättningsökningen.

En översikt av internationella operatörer finns i bilaga 4. Vad gäller system finns en sammanställning i bilagorna 5 och 6. De största och viktigaste systemen beskrivs var för sig i bilaga 8.

5.4 Erbjudna tjänster

Den ursprungliga användningen av kommersiella satelliter skedde huvudsakligen inom två områden, internationella trunkförbindelser och TV-kontribution, dvs. sändning mellan TV-bolagen. Den förstnämnda innebär länkar i det internationella telesystemet och dessa förbindelser kontrollerades av de stora nationella teleföretagen. Den andra innebär TV-överföring av programkanaler och sker mellan de stora TV-bolagen. Dessa vände sig således inte direkt till konsumenten. Även idag utgör satellitkommunikation ett viktigt komplement till markbaserade nät även om betydelsen i tex. Atlantrafiken nedgått (Intelsat hade under 80-talet 70 % av Atlantrafiken mot idag ca 40 %) efter införandet av fiberoptiska kablar med mycket hög

kapacitet. Idag utgör istället satelliten en reservresurs vid hög belastning av nätet och komplement i glesbygd där utbygganden av marknät är oerhört dyrbart utslaget per användare. Exempel på sist nämnda tillämpning finner man i Australien.

Tidigare viktiga affärsområden för satellitföretagen såsom tex. rena affärsförbindelser har i viss mån idag övertagits av fiberoptiken även om affärskommunikation med höghastighetsdata, höghastighetsfax och konferenstelefoner fortfarande utgör ett viktigt kundsegment.

Den hittills viktigaste tillämpningen av satelliter för konsumenten utgör nog satellit-TV, Direct to Home (DTH). Detta är också ett viktigt kommersiellt segment som innebär betydande intäkter för satellitbolagen. Antalet TV-kanaler som sänds via satellit är idag mycket stort.

För mobila applikationer har en hel rad av olika tjänster utvecklats som nu finns tillgängliga på marknaden för den som äger en terminal.

Meddelanden med mycket begränsad dataöverföring erbjuds av tex INMARSAT D+. Terminalerna är mycket små och kombineras oftast med GPS. E-SAT är ett liknande system avsett för låghastighetsdata mellan fasta installationer. En ytterligare typ av system benämns "Little LEOs" och är avsedd dataöverföring med låg hastighet, spårning och envägsmeddelande. Funktionen påminner mest om den hos dagens personsökare, men räckvidden är global. Systemen arbetar dels på 1-2 GHz-bandet och dels på 1,8-2,7 GHz med en tilldelning av 1-2 MHz vardera. Exempel på denna typ av system är Orbcomm.

Dataöverföring med låg hastighet (600 bps) erbjuds av INMARSAT-C. Terminalerna är byggda för montage i båtar eller olika slags fordon och är betydligt större och mer energikrävande. Systemen finns i fullt kommersiellt bruk sedan många år och är väl beprövat och dessutom billigt i drift..

Under 1999 introducerades Mobile Satellite Services (MSS) för mobil rösttelefoni. Exempel på denna "GSM-telefoni" med data och fax är tex Iridium, ICO, Globalstar och Ellipso. Dessa är hybridsystem som använder sig av befintliga GSM-nät kompletterade med satelliter för att nå global täckning. Alla dessa system är optimerade för taltrafik, men kan alltså även erbjuda datatrafik. Terminalerna för Iridium, ICO och Globalstar kommer se ut som mobiltelefoner

och väga mindre än 0,5 kg, men telefonerna är än så länge dock stora och otympliga och antennen mycket stor jämfört med en vanlig GSM-telefon. Systemen ger en betydligt ökad rörlighet eftersom de inte fodrar en riktad antenn. MSS-systemen opererar idag på L-bandet (1,4-1,8 GHz) och varje system har tillgång till omkring 5 MHz vardera. Dataöverföringshastigheten varierar mellan 2400 och 7200 bps.

Höghastighetsdata med god röst och acceptabel videoöverföring erbjuds av INMARSAT-B. Höghastighetsdata är ett relativt begrepp eftersom maxhastigheten är 64 kbps, men kan användas för tex. ISDN-applikationer. INMARSAT-B terminalerna är resväskstora och väger ca 12 kg. Under 1999 togs INMARSAT-M4 (GAN) i drift, med terminaler som endast väger omkring 4 kg och som dessutom kan sammankopplas så att de tillsammans ger 128 kbps. En ny tjänst erbjuds också INMARSAT Packet Data Service (IPDS) innebärande IP-baserad paketförmedling där kunden bara betalar för överförd datamängd.

Multimedia med mycket stor bandbredd utlovas av en hel rad nya projekt som Teledesic och Skybridge. Dessa system riktar sig främst mot fasta användare som behöver bandbredden för Internet, telefonkonferenser och dataöverföring med mycket hög kapacitet. Teoretiskt kommer man kunna erbjuda bredbandsöverföring till bärbar utrustning överallt i världen.

5.5 Militär satellitkommunikation

Karakteristiskt för militära system är de höga störfasthetskraven vilket leder till behov av stora bandbredder och därmed utnyttjande av höga frekvenser. Särskilda militära frekvensband är tilldelade vid 7/8 GHz och 44 GHz, vilka ger bandbredder på 500 MHz respektive 3 GHz.

NATOs satellitprogram började samtidigt med det amerikanska i mitten av 60-talet. Idag är NATO inne på den fjärde generationen satelliter som är modulkonstruerade och bygger på den brittiska Skynet-IV satelliten. Systemet består av två satelliter med tre SHF transpondrar och två UHF transpondrar på varje satellit.

Storbritannien och Frankrike har egna nationella system. Redan 1966 påbörjade Storbritannien sitt första rymdprogram och 1969 hade man den första egna satelliten Skynet 1 i luften.

Den nuvarande generationens (Skynet IV) tre st. satelliter sköts upp så tidigt som 1988-1990 och är fortfarande i full drift. Kommunikationsenheten består av fyra moduler på SHF-bandet och två UHF-moduler för kommunikation med ubåtar. Nästa generations Skynet-satelliter skall vara i full drift i början av 2000-talet. Frankrikes satellitsystem benämns Syracuse och sitter på de kommersiella satelliterna France Telecom 1 och 2. Förutom det egna systemet utnyttjas också kommersiella satelliter.

Spaniens satellitprogram heter Hispasat och är en kombinationssatellit med både civil och militär användning.

USA är världens ledande nation inom området militär satellitkommunikation. För att konkretisera sina behov har man idag delat in sitt satellitkommunikationsprogram i fyra olika delar.

Trafik med hög sekretessgrad utväxlas idag via MILSTAR satelliter. Dessa kommer ersättas av ett nytt avancerat EHF-system. För att klara av täckningen över polarområden fortsätter man att samarbeta om tjänster på satelliter i polär bana. MILSTAR skall bestå av sex satelliter i geosynkrona banor och erbjuda global täckning inklusive polarområdena. Systemet beräknas vara i fullt operativ drift 2003. För att erbjuda bredbandig och störtålig trafik utnyttjas EHF-bandet. Satelliterna skall innehålla alla typer av signalbehandling inklusive olika typer av bandspridningstekniker, modulation och kodning. På detta sätt kan man renodla en störd uppsignal och lägga all energi på en korrekt nersignal. Systemet kommer också innehålla en intersatellitlänk som ytterligare höjer störskyddet då trafiken inte behöver reläas via jorden.

Vad gäller bredbandsöverföring livstidsförlänger man Defense Satellite Communications System (DSCS) och utökar dess kapacitet för att kunna tillgodose alla krav på strategisk och taktisk kommunikation till och från presidenten och mellan USAs strategiska och taktiska kommando och Early Warning Sites om andra sambandsmöjligheter saknas. DSCS är uppbyggt kring ett mycket stort antal kanaler med maximal säkerhet. Systemet utnyttjas också för diplomatisk trafik. Förutom detta används systemet också för trafik mellan land och fartyg och till ett antal andra prioriterade användare.

Systemet erbjuder direkttrafik mellan terminalerna. Varje DSCS III satellit innehåller sex transpondrar med separat förstärkare till varje transponder. Genom att använda multiloban-

tenner som kan anpassa signaltyp, förstärkning och uteffekt efter användarens behov får man ett mycket flexibelt system som kan koncentrera signalen till ett mycket litet område eller sända ut den över en stor yta.

FLTSATCOM designades för att förse US Navy med ett flerkanaligt UHF samband. Systemet stödjer också US Air Force och delar av de strategiska kärnvapenstyrkorna.

Det har ett stort antal kanaler på 244-400 MHz-bandet. FLTSATCOM erbjuder en störskyddad UHF-kanal för utsändning till alla flottans fartyg och dessutom en dator till datorförbindelse för utväxling av digital information mellan fartyg-land-flyg eller sinsemellan.

Under införande är också UHF Follow-On (UFO) communications satellite programme som medger betydligt fler överföringskanaler och större hastigheter än FLTSATCOM och är tänkt att ersätta detta. UFO består av 39 UHF kanaler med en total bandbredd på 555 kHz fördelade på 21 smalbandskanaler på 5 kHz vardera, 17 reläkanaler på 25 kHz och en broadcast kanal på 25 kHz. När systemet är fullt utbyggt skall det bestå av 8 satelliter.

Bredbandstjänster kommer också tillhandahållas av Global Broadcast Services (GBS) på de tre UFO satelliterna. Man kommer också att skjuta upp tre civilt likvärdiga "gapfillers" under 2004 för att minska den ökande klyftan mellan behovet och tillgången på taktiskt bredband. Ett mer avancerat bredbandsystem med prestanda motsvarande kommersiella system räknar man med att ha driftsatt 2008.

Utveckling av mobilkommunikationen innebär att man skjuter upp de två återstående UFO satelliterna. Ersättaren till detta system är planerat till 2006. Detta system har döpts till Mobile User Objective System (MUOS).

Den fjärde och sista delen utgörs av kommersiell satellitkommunikation. Utveckling på den civila sidan ses som mycket positiv och man poängterar att försvaret idag slipper göra kostsamma investeringar inom en rad segment. Strategin har ändrats så man idag enbart gör investeringar inom områden som kräver speciella försvarsapplikationer och utnyttjar den civila marknaden på alla andra områden. Däremot anser man att nationella säkerhetsintresse gör att man inte enbart kan utnyttja civila system.

För att klara av de framtida behoven så satsar USA på att utveckla ett satellitsystem som på projektnivå benämns AEHF (Advanced EHF) och skall vara klart och i drift ungefär 2010. Behovet av större bandbredd för att klara av högre datahastigheter och behovet av att kunna tillverka lättare och mindre markutrustningar kräver detta. AEHF ger förutom säkra och skyddade överföringar också högre datahastighet, större flexibilitet och framförallt att överföringshastigheten bibehålls i en störd miljö.

Systemkonceptet för AEHF skulle innebära att man genom ett nät av geostationära satelliter skulle kunna erbjuda satellitkommunikation med störskydd och EMP-skydd till såväl fasta som rörliga användare till sjöss, på marken och i luften. I jämförelse med Milstar kommer AEHF att ha en 5 ggr högre maxkapacitet, 5 ggr högre Datahastighet och bara kosta 1/16 per överförd bit. Den maximala datahastigheten skulle öka från 1,544 Mbit/s till 8,192 Mbit/s. Den totala kapaciteten skulle i EHF bli 229 Mbit/s. Detta uppnår man med 192 Low Data rate (LDR) uplink kanaler och 56 uplink Extended Data Rate (XDR) kanaler.

Inom bredbandssegmentet kommer utvecklingen att gå från DSCS och GBS mot ett system kallat Wideband Gapfiller. Datahastigheten kommer teoretiskt att öka med minst 5 ggr från dagens 10 Mbps till över 50 Mbps. Det nya systemet kommer ägas av försvarsdepartementet men kommer att byggas på och se ut som kommersiella system. Det kommer bestå av 3 st satelliter som arbetar på X och Ka-band. Sändning och mottagning kommer att ske från fasta installationer, men även mobilt taktiskt utnyttjande kommer möjliggöras. Mottagning av broadcasting sändningar skall kunna ske överallt.

En översikt över militära kommunikationssatelliter finns i bilaga 7.

5.6 Utländska marina satellitkommunikationsystem

För att få en av referens till våra egna systemförsök följer här en översikt över utländska marinernas satellitinstallationer (JANEs Military Communications, 2000).

Frankrike har utvecklat ett eget totalintegrerat system som innehåller både militära och civila komponenter och medger en flexibilitet med sändningar av data och tal över ett flertal frekvensområde. Genom sambandsdatorn i det integrerade nätverket THOMNET skapas möjlig-

heter att ständigt välja den lämpligaste utkanalen från långvåg till satellit. Som en utveckling av ovannämnda system finns också systemet SUBCOS för ubåtar. Systemen har en kanalkapacitet på upp till 64 kbit/s.

Tyskland har en rad system som utnyttjar bla. INMARSAT-satelliter. Datahastigheten varierar de olika systemen, men är maximalt 64 kbit/s.

Norge och Danmark har både fartygs- och fordonsmonterade system byggda kring INMARSAT -B och INMARSAT M. Danmark använde sig av INMARSAT både under Gulfkriget och under operation "Sharp Guard" i Adriatiska Havet, i samband med krigen i det forna Jugoslavien. Inledningsvis använde man sig endast av förbindelserna för telefontrafik, men övergick successivt till att även sända krypterad data dock med relativt låg hastighet. Erfarenheten visade att tillförlitligheten var hög, men att kostnaden för en förbindelse där man betalar per tidsenhet blir hög. Danmark har övervägt att skaffa sig system som ger tillgång till NATO's satelliter men hittills har inget beslut fattats (intervju Kk Per Möller Nielsen, 2001).

Storbritannien fick sitt första satellitkommunikations system till Royal Navy så tidigt som 1974. Sedan har ständigt nyare och uppgraderade versioner av SCOT SHF shipcom tillförts fartygsförbanden. Exporten har varit framgångsrik och förutom Storbritannien har idag *Brasilien, Kanada, Tyskland, Italien, Holland, Portugal och tom US Navy* olika versioner av detta system. Antennerna är relativt stora, mellan 1,2-2,7 m men överföringshastigheten hög, över 2 Mbit/s.

USA har mycket väl utbyggd satellitkommunikation. Systemen används för alltifrån länktrafik till persontelefoni. Beroende på användningsområde varierar antenndiametrarna mellan 83 cm och 18 m, för fast monterade reflektorantennor, dessutom finns mindre bärbara stationer. AN/WSC-3 är den amerikanska flottans standardsystem. Systemet finns i ett mycket stort antal versioner och har inbyggda modem för satellitkommunikation. Det beräknade antalet terminaler i drift var i slutet av 90-talet ca 10000 och systemet fanns i samtliga USAs försvarsgrenar liksom hos ett flertal av USAs allierade, inkluderande många NATO-nationer. Överföringshastigheten är 75 bit/s FSK och 75 bits/s-9.6 Kbit/s PSK.

Det nyare systemet AN/WSC-6(V) erbjuder kommunikation via DSCS-III , NATO-IV och Skynet satelliter med utnyttjande av 7,25-8,4 GHz. Systemet finns med antingen en eller två reflektorer i två storlekar 122 och 213 cm och används idag på US Navys ledningsfartyg.

Bland utländska mariner har nederländska flottan köpt ett antal system. Dessa skall fungera via DSCS III, NATO IV, Skynet eller civila satelliter. Systemet har betydligt högre överföringskapacitet än de gamla och skall kunna erbjuda hastigheter på upp till 2 Mbit/s.

Utöver de rena försvarssystemen är en rad amerikanska system designade för att använda sig av civila satelliter som Intelsat, Eutelsat, PanAmSat och ett antal andra regionala system.

Även INMARSAT utnyttjas av US Navy.

6 Svenska försök och installationer

6.1 Arbeten och utredningar inom FM, FMV, FOA och FHS ram

Försvarsmakten har under senare år genomfört en omfattande studie- och utredningsverksamhet inom ramen för vad som kallas ”det nya försvaret”. Inom konceptuella begrepp som Revolution in Military Affairs (RMA), Dominant Battlespace Awareness (DBA), Dynamic Engagement (DE) och Precision Engagement (PE) döljer sig framtidsstudier som rör alla områden inom militär verksamhet. Fokus har inledningsvis legat mot lednings- och informationsstrukturer. Gemensamt för studierna är en omfattande diskussion om olika informations- och kommunikationskanaler, men också att satellitsystem intar en mycket undanskymd plats.

LUST (Försvarsmakten, 2000), som tillsammans med LedSystT och FMI 2020 berör satellitfunktionen, anger att satellitbaserat samband ingår i framtidsperspektivet för såväl spanings-systemens samband som för de generella kommunikationsbehoven. Det bör observeras att inga försök ännu har gjorts att integrera olika system (för samband, fjärranalys, signalspaning etc.) som eventuellt skulle kunna härbärgas i samma satellit – de skisserade sambandslösningarna som bygger på satellit är i princip inte låsta till att satelliten är svensk eller ens att systemet står under svensk kontroll (Försvarsmakten, 2000).

FOI har bedrivit en omfattande forsknings- och studieverksamhet inom satellitområdet. Här har dock koncentrationen skett mot områdena fjärranalys och bildbehandling. Några rappor-

ter(Försvarets forskningsanstalt, 1999) har dock berört området satellitkommunikation och inom ramen för de framtida kommunikationssystemen bedrivs studier inom området.

FMV har förutom ett antal tekniska prov genomfört en kunskapsinhämtning inom området. Arbetet har resulterat i en rad tekniska erfarenheter och ett antal rapporter. Vidare håller man på att bygga upp ett kontaktnät bestående av personer med kunskap inom området. I skriftlig form har förutom skrivelser med testresultat även ett antal lägesöversikter publicerats.

Vid FHS har några utredningar om satellitnavigering och en allmän översikt om satelliter genomförts. Ingen av dessa har varit inriktade mot kommunikationsdelen.

Sammanfattningsvis kan konstateras att olika organisationer besitter olika kompetenser inom ämnesområdet. Inom den militära delen sker samarbete och utbyte av information. Ett antal kontaktytor och samarbetskanaler finns också gentemot industrin.

6.2 Prov- och försöksverksamhet – SWELINK, SWEMILSAT, SWIPSAT

För att få en uppfattning om funktionalitet och användbarhet har en rad prov genomförts med olika system och lösningar. För att ge läsaren ytterliggare kvalitativ vägledning följer här en presentation av dessa försök.

SWELINK

De mål som gäller för satkom till utlandsstyrkan är avsevärt högre än partnerskapsmålet. Sedan 1995 har förbanden i Bosnien/Kosovo utnyttjat ett satkomsystem – SWELINK - där markutrustningarna ägs av FM och erforderlig transponderkapacitet hyrs i en kommersiell satellit. Systemet består av en fast huvudstation i Enköping och en station vid bataljonshögkvarteret i Kosovo. Satellitkanalerna är fasta punkt-till-punkt förbindelser, ständigt uppkopplade och med datahastigheten 64 kbit/s (dock 128 kbit/s till Bat HQ). Varje 64 kbit/s-kanal är multiplexerad för att bära fyra talkanaler och en datakanal (9,6 kbit/s). Talkanalen klarar även grupp 3-fax (9600 bit/s). Frekvenser på 14 GHz upp till satelliten och 11 GHz ned utnyttjas. Erforderlig antennstorlek är endast 1,2 m i diameter. All utrustning är hyllvara (COTS – Commercial Of The Shelf) enligt tillämpliga standarder (bla ETSI).

Rymdsegmentet, hyrs genom norska Telenor och utgörs av ett ca 1 MHz brett band i en transponder på den geostationära satelliten Intelsat-707.

Ur användarhänseende har SWELINK inte alltid fungerat helt tillfredställande. Funktionen hos kanalen har varierat. Försök har bl.a. gjorts med att öka effekten så att energi/brusförhållandet blivit mer gynnsamt, från 7 till 8 dB. Detta har fallit väl ut och systemet är idag i full drift bl.a. för administrativ trafik till och från utlandsstyrkan.

SWEMILSAT

Fram till 2000 har FM dessutom drivit ett provsystem – SWEMILSAT – för att pröva olika tekniker och tjänster. En markenhet finns f n i Kosovo och utnyttjas främst för sk. wellfaretrafik, inklusive åtkomst till Internet. Ledning och styrning av systemet har skett från LedC i Enköping, FMV i Solna och Försvarets IT-skolan i Halmstad. NMS (Network Management System) har skiftats mellan Halmstad och Enköping.

Även i SWEMILSAT har man använt sig av en geostationär satellit, denna gång den svenska Sirius-satelliten.

Proven bröts ner i en stor mängd delprov, vart och ett belysande en problemställning, en tjänst eller en funktion hos det anskaffade NMS-systemet. Allt som allt listades 22 olika provpunkter.

De inledande försöken visade att systemet var lätthanterligt och lättarbetat, men innehöll ett antal mekaniska och miljömässiga begränsningar (FMV, 2001). Test av Internetuppkoppling har gjorts med gott resultat och regelbunden trafik genomförs nu till KFOR-styrkan i Kosovo.

Prov med videokonferens Netmeeting genomfördes med blandat resultat. Ljudöverföring fungerade dock alltid utan avbrott. Ett annat system för videokonferens benämnt Viewstation provades också. Vid försöken utnyttjades satellitbandbredden 256 kb och olika överföringshastigheter provades. Allra bäst resultat erhöles då kanalbandbredden utökades något till 320 kb, för att kompensera för TCP/IP-protokollets overhead. Godtagbar bildkvalité erhöles dock

redan vid 128 kb. Fördelen med att använda TCP/IP över Satkom är att bandbredden enkelt kan delas med övriga användare.

Prov med kryptoutrustning visar att denna efter en del initiala problem fungerade utan anmärkning. Vid satellithopp måste dock uppringande part initiera kryptot. Satellithopp sker mycket sällan vid utnyttjande av geostationära satelliter eftersom de har så stort täckningsområde. Utnyttjas satelliter i lägre banor sker dock satellitbyte betydligt oftare, i värsta fall 2-3 gånger per timme.

Den del av provserien som gick ut på att testa användbarheten hos systemet vid internationella övningar och uppdrag utföll mycket väl och visar på goda möjligheter till deltagande.

Tester med talkanaler genomfördes för att visa att man kan etablera talkanaler från en terminal till ett godtyckligt antal terminaler. Vocodrar utnyttjades som var utrustade med V35 interface. På Vocodern kunde olika överföringshastighet väljas (4800, 6400 och 9600 bit/s). Vid 9600 bit/s är talkvaliteten jämförbar med en normal telefonförbindelse. Vid lägre hastigheter spricker ljudet lite. Programvara för automatiska uppkopplingar utnyttjades ej varför uppkopplingen mellan abonnenterna fick ske manuellt, något som begränsar systemets kapacitet.

SWIPSAT

Hösten 2000 har ett arbete påbörjats med att samordna satkomverksamheten, där målet är att 2002 ha ett gemensamt grundsystem – SWIPSAT – som kan ses som en förlängning av FTN ut till utlandsstyrkan. Systemet skall också motsvara de krav som ställs på Sverige inom ramen för PFP och EU:s militära krishanteringskomponent. Verksamheten skall sammanhållas och drivas genom MS 468 (KRI LED), men markenheter för förbanden anskaffas av resp. förbandsansvarig.

En målsättning för SWIPSAT och satkom för utlandsstyrkan utarbetas vid KRI under 2001. Genom att samordningsarbetet är uppstartat kommer de förbandsvisa lösningar av satkom som görs i närtid att inriktas mot SWIPSAT-konceptet och därför kunna ingå i den gemensamma lösningen.

SWIPSAT är liksom SWELINK och SWEMILSAT uppbyggt kring en geostationär satellit. Den översiktliga tidsplanen för projektet farmgår av tabell 7.

Tabell 7. Översiktlig tidsplan för utveckling av SWIPSAT.

	2000	2001	2002	2003	2004
SWELINK					
SWEMILSAT					
Målet implementerat					
Auktorisering SWIP-SAT-koncept					
Satkom för SWAFRAP, 302-bat					
Målsättning satkom utlandsstyrkan					
SWIPSAT gemensam plattform					
Satkom i RMA/DBA Demonstrator					
Utredning utbildning, drift, UH					

Partnerskapsmålet ställer i sig inga krav på utveckling eller anpassningar. Kommersiella system kan utnyttjas fristående. För att uppnå optimal funktionalitet bör systemen kunna kopplas ihop med ledningssystemet, vilket kan ske genom standardiserade gränssnitt. SWELINK-systemet har redan integrerats i befintligt ledningssystem och är sammankopplat med telesystemet.

Övriga prov

Förutom ovanstående prov har prov även genomförts med olika handburna terminaler för satellittelefontrafik via Iridium, Mini-M2 och Globalstar. Datatrafik har provats med en Orbcommterminal monterad i VW-buss. Alla dessa försök har utfallit väl, men även blottat brister i respektive systems tillgänglighet.

6.3 Marina prov och installationer

HMS Carlskrona

Målsättningen med installation av en provanläggning på HMS Carlskrona var att utvärdera möjligheterna att använda fartyget för internationell stabsverksamhet. Proven genomfördes under en större internationell övning kallad VIKING-99, där fartyget skulle fungera som ledningsplattform för taktisk chef eller med internationell benämning Maritime Component Commander (MCC).

För prov av datatrafik genomfördes kvalitetsmätning på 64 kbit/s och 128 kbit/s-2,048 Mbit/s. Bitfelssannolikheten följde modemtillverkarens specifikationer. För högre överföringshastigheter krävdes dock större uteffekter än tillgängliga 4 W eller större antenn. Ökning av uteffekten gav dock spektral påverkan utanför anvisad bandbredd medförande risk för interferenser med andra system något som var oacceptabelt för satellitoperatören. Antenndiametern som användes var 1,2 m. Önskas större bandbredd kan denna behöva ökas.

Vid prov med videokonferens utnyttjades Netmeeting och Viewstation . Vid användning av Netmeeting erhöles ingen kvalitetsskillnad på bildöverföringen vid ökad bandbredd. Maximal trafikbelastning som erhöles var 400 kbit/s, men i normalfallet var belastningen betydligt lägre. Netmeeting hade inte tillräcklig kvalitet för professionell användning. Viewstation, som användes för att prova mer professionell utrustning samt TCP/IP som överföringsprotokoll visade att en satellitbandbredd på 256 kbit/s räckte för att erhålla en godtagbar bild. Om bandbredden ökades till 320 kbit/s upplevdes bild och ljud som mycket bra.

SWEMILSAT är av DAMA-typ (Demand Assigned Multiple Access), vilket innebär att inhyrt frekvensområde utnyttjas dynamiskt av alla terminaler i systemet. NMS förvaltar frekvensutrymmet och tilldelar frekvensresurs efter önskemål. Prov genomfördes av Telia med endast en 64 kb länk och denna fungerade bra trots att kraftiga dopplerskift uppkom pga rullning.

Vad gäller fartygssystemet visade det sig ha vissa begränsningar. Överlag fungerade dock terminalen då fartyget gick så att fri sikt erhöles till antennen. På vissa kurser gjorde antennens placering att en död sektor erhöles gentemot den avprovade satelliten (Svenska Sirius 2).

Återhämtningstiden efter att man lämnat sektorn var 10-150s. Kraftiga manövrar med fartyget gjorde att antennen hade svårt att bibehålla följningen av satelliten. Även i vissa andra fall erhöles följeproblem, som tex. vid skjutning med 40 mm kanonen. Många av dessa problem berodde dock på fel i antennen.

Förhållandet effekt/bandbredd gav tillräcklig marginal för acceptabel kommunikation. Vid större bandbredder (> 2Mbit/s), bör effekten ökas vilket kan ge överstyrning av slutsteget. Om man istället väljer en dubbelt så stor antenn, dvs. 2,4 m i diameter, ger detta 6 dB i vinst i sändningsriktningen.

HMS Trossö

När HMS Trossö anskaffades installerades ett larmat fibernät för LIM IS trafik ombord. Fördröjningarna i LIM IS har gjort att nätet utvecklats till ett öppet nät enligt FM-IP regler med TODAKOM. Till sjöss är det dock svårt att kommunicera med TODAPOST och stödsystemen FS och LSS. För att kunna kommunicera utanför ordinarie förtöjningsplats har Trossö försetts med en router som kopplats till FM IP-nätet via fiber alternativt via ISDN interface till vx 500. Prov genomfördes för att kontrollera om denna trafik var möjlig via satellit. Provet utfördes till kaj med antennen stående på marken, men gav ett resultat som visade att det är fullt möjligt att vara uppkopplad mot FM-IP nätet när man är till sjöss.

HMS Belos

HMS Belos har idag INMARSAT-B och satellit-TV kapacitet.

HMS Orion

Har satellitmottagare för TV av typen Delta 9000 med en 90 cm parabolantenn installerad. Anläggningen fungerar bra inom fartygets hela operationsområde.

Satcom Ubåt

Prov av Orbcomm

Prov genomfördes med en Panasonic KX-G7001 och datorprogramvaran MSGTERM.EXE (DOS).

Till utrustningen skickades via Internet 16 email, av vilka 13 kom fram korrekt. Resterande meddelande försvann på vägen. Den längsta fördröjningen var 65,9 timmar och den kortaste 30 minuter. Medianvärdet var 5,5 timmar. Meddelandena skickades till en adress i USA som sedan slussades vidare till den förvalda satelliten när denna passerade markstationens upplänk.

Från utrustningen skickades 46 meddelande av vilka 31 kom fram. Fördröjningen varierade mellan 92,2 h ned till 1,5 h. Snittfördröjningen var dock något kortare och medianen låg på 4,5 h.

Nackdelen med systemet vid provtillfället var förutom att ett stort antal meddelande försvann att man ej fick kvittens på om meddelande gått fram eller ej. En tredje nackdel var fördröjningar och osäkerheter i mailfunktionen.

Fördelarna är att utrustningen är relativt enkel och billig med en rundstrålande standardantenn.

Prov med Iridium och Globalstar

För att undersöka möjligheterna för utnyttjande av system för persontelefoni, inköptes och provades terminaler både för Iridium och Globalstar. Det visade sig att Globalstar hade klara begränsningar i marin täckning. Inte heller Iridium fungerade felfritt. Slutsatsen blev att systemen kan utgöra ett bra komplement till annan telefoni, men inte ett satellitsystem som komplement till övrigt samband.

Prov med fasstyrd antenn

Mastarrangemanget på en ubåt innebär klara begränsningar vad gäller möjligheterna att montera en reflektorantenn. En lösning skulle kunna vara att integrera en fasstyrd antenn i någon av masterna eller i tornet. Försök gjordes med att montera en fasstyrd antenn med endast åtta antennelement i en av masterna. Lösningen visade sig praktiskt användbar och vidare försök bör göras.

7 Specifikation och analys av krav på systemet

7.1 Överbefälhavarens beslut

Det senaste övergripande beslutet inom satellitkommunikationsområdet fattades av Överbefälhavaren 1995 (HKV, 1995) och grundar sig på en studie som avrapporterades tidigare samma år. I beslutsunderlaget pekar man inledningsvis på hoten mot satellitfunktionen och framhåller att utnyttjandet av civila kommersiella system innebär en avsevärd risktagning i en krig- eller krissituationer. Även farorna med att inte själv styra satelliten understryks. Vidare sägs att kraven på system för satellitkommunikation måste ställas på samma sätt som för andra sambandssystem vad avser kapacitet, tillgänglighet, säkerhet, störskydd mm.

”Satellitkommunikation måste sättas in i en helhetsbild avseende utformning av Försvarsmaktens ledningssystem med hänsyn till nuvarande och tänkbara kommande uppgifter och erbjuder möjligheter till nya former av operativt och taktiskt uppträdande, större frihet beträffande aktionsområden, nya ledningsmöjligheter och flexibla nätstrukturer. Ett eget system för Försvarsmakten behöver inte innebära att systemet enbart ägs och disponeras av Försvarsmakten. Ett samgående med i första hand andra totalförsvarsfunktioner är naturligt. Geostationära satelliter förefaller vara den lösning som lättast kan tillgodose täcknings- och tillgänglighetskrav för operativa och taktiska ändamål”

Om systemet skall utnyttjas som huvudsambandsmedel ställs helt andra krav på kontroll, störskydd och redundans. Därför bedöms satellitkommunikation lämpligt som kompletterande sambandsmedel för operativa och taktiska ändamål samt som ordinarie sambandsmedel för administrativa funktioner, innefattande bl.a. samband till svenska FN-styrkor utomlands. Här bedöms även kommersiella system utan särskilt störskydd användbara.

Idag sker den snabbaste utvecklingen inom civil satellitteknologi. Man bör därför så långt möjligt utnyttja civil teknik och därmed minska behoven av egenutveckling av system och komponenter. Möjligheterna till anskaffning i närtid av resurser i ett kommersiellt satellitsystem skall klarläggas. Avsikten skall vara att påbörja uppbyggnaden av kompetens och erfarenheter rörande utnyttjande av satellitkommunikation. Försvarsmakten skall vidare i syfte att

belysa samordnings- och samverkansmöjligheter överväga att stödja och delta i lämpliga svenska och utländska rymdprojekt, främst de som avser satellitkommunikation.

Analys

För att kunna utnyttja satellitkommunikation som huvudsambandsmedel i enlighet med de krav som ställs måste man ha en egen satellit, då detta är enda sättet att tillförsäkra sig 100 % tillgänglighet och säkerhet. Om man däremot utnyttjar satelliten som kompletterande sambandsresurs kan man tänka sig ett antal andra lösningar från militärt samarbete till inköp av en rent kommersiell tjänst. För att ha full kontroll över systemet måste man utnyttja de nationella satelliterna, vilket för Sveriges del innebär Sirius 2. I andra hand kan man använda de internationellt ägda satelliter där Sverige är delägare, Eutelsat och Intelsat. Risken för att dessa blir avstängda vid en begränsad konflikt är mycket liten. Utnyttjar man också samtidigt flera internationella system minskas risken för avbrott. I tredje hand är det möjligt att hyra in sig på de många privata internationella satellitsystemen.

Slutsatser

Satellitkommunikation är utomordentligt väl lämpat som kompletterande sambandsmedel.

Civila satellitsystem motsvarar de krav som ställs på ett system som skall användas till såväl operativa och taktiska ändamål som administrativ trafik.

7.2 Inriktningar

HKV KRI LED har det övergripande ansvaret för anskaffning av satellitkommunikation för FM. Den i närtid prioriterade verksamheten skall leda till att Sverige fullt ut kan delta inom ramen för de partnerskapsmål som ställts upp. Detta innebär att vi vid utgången av år 2004 skall vara beredda att förse alla enheter som utnyttjas i NATO-ledda PFP-operationer med samband som baseras på kommersiell satkom för personligt bruk (t ex INMARSAT, Iridium, ICO, Globalstar) som erbjuder tal och datatjänster för förbandets/enhetens svenska personal. Motivet till detta är att de partnerländer som erbjuder förband till NATO-ledda PFP-operationer bör erbjuda egen satkom för i första hand kommunikationsbehov som ej är relaterade till command and control (t ex samband för nationella behov).

Kommunikation med andra enheter ingående i en operation ligger utanför målet. Tidskravet är lågt (2004) och partnerskapsmålet är uppfyllt redan nu, då kommersiell satellitkommunikation med regional eller global täckning finns tillgänglig på marknaden och utnyttjas i utlandsstyrkan.

Någon övrig inriktning för anskaffning av satkom till förbanden finns inte. KRI LED har dock i uppdrag (intervju med Anders Eklund, 2001) att sammanställa en FM-gemensam målbild för funktioner och tjänster inom satellitkommunikationsområdet. Övriga utvärderingar och försök görs inom ramen för respektive försvarsgren.

Analys

I den målbild som ställts upp skall alla enheter som utnyttjas i NATO-ledda PFP-operationer vara försedda med samband som baseras på kommersiell satkom. Såväl armén som flygvapnet har byggt upp eller håller på att bygga upp och införa satellitresurser för de förband som ställs till EU:s förfogande. Marinen däremot har endast genomfört provverksamhet och kan därför troligen inte uppfylla målen till år 2004.

Slutsatser

Marinens fartyg motsvarar idag inte de krav som ställs på enheter som skall delta i internationella operationer.

Marinen ligger idag efter armén och flygvapnet vad gäller anskaffning av satellitkommunikation.

Förmodligen kommer Marinens fartyg inte heller 2004 att fylla kraven för NATO-ledda operationer.

7.3 Strategiska och operativa krav

Inledning

Utöver FM beslut och inriktningar kan ett antal strategiska, operativa och taktiska krav för ett satellitkommunikationssystem ställas upp. Dessa är tänkta att motsvara de användningsområden, den ambitionsnivå och de funktioner varje system skall ha och blir därför olika för respektive försvarsgren. I denna uppsats har författaren sammanställt de krav Marinen kan tänkas behöva tillgodose.

Satellitkommunikation skall ses som ett viktigt delsystem i en flexibel sambandsarkitektur. Naturligtvis är det bra om systemet tillför extra kapacitet inom något område. I huvudsak bör dock kravbildningen inte göras mer omfattande än för övriga system. Framtiden kan dock innebära behov av bredbandsöverföringar, videokonferenser eller tillgänglighet till bilddatabaser något som satellitsystem är mycket väl lämpade för.

Strategiska och operativa krav

PARP-kraven definieras som en förmåga att kunna operera i ett område med Bryssel i centrum och en radie av 4000 km. Detta är ett ur marin synvinkel ganska långtgående krav. I första hand bör därför systemet kunna utnyttjas på våra enheter under operationer i Östersjön, Skagerack/Kattegatt och Nordsjön. Vid behov skall systemet också gå att utnyttja i andra farvatten, som tex. vid övningar i och runt Storbritannien. Det skall ha en god tids- och områdestäckning och skall kunna utnyttjas vid både nationella övningar och internationella uppdrag tex. inom ramen för samarbetet inom EU, PFP eller med NATO. Systemet skall i första hand kunna verka under fred och kris. Fungerar det dessutom i krig är detta ett tilläggsvärde, men det skall inte vara ett krav vid anskaffning.

Utöver punkt-till-punkt kapacitet skall en möjlighet till broadcastfunktion (en sändare skickar information till många mottagare samtidigt, motsvarande rundradio) finnas.

Systemet bör medge kommunikation på såväl en exklusiv kanal som via våra ledningssystem iland och till sjöss. Det bör också vara interoperabelt med internationella ledningssystem.

Analys

För att klara av det stora operationsområde som definierats krävs ett system med mycket god geografisk täckning. Marknaden för kommunikationssatelliter domineras av geostationära system. Egenskaperna hos satelliter i denna position är mycket fördelaktiga. Den största nackdelen utgörs av att avståndet innebär en viss fördröjning av trafiken och att det krävs relativt hög uteffekt och riktbara antenner.

Det senaste decenniets satsningar på system med alternativa banprofiler och egenskaper än de geostationära satelliterna har inte rönt den framgång man förutskickade, även om det för satelliter i låga banor krävs betydligt lägre sändningseffekter än för kommunikation med satelliter i geostationär bana. System av flera satelliter i icke-stationära banor innebär vissa fördelar ur militär synvinkel. Satelliterna behöver inte övervakas för att kontrollera att de befinner sig i en viss tilldelad box i den geostationära banan, dvs. satelliterna får en typ av autonomitet. Hela kommunikationsnätet blir också robustare, eftersom varje satellitbortfall bara innebär att kommunikationsmöjligheten försvinner under ca en halvtimme. Intersatellitlänkarna som möjliggör för satelliterna att kommunicera med sina grannar minskar också sårbarheten.

Trots att de icke-stationära banorna således har en rad fördelar är ändå de geostationära satelliterna i dagsläget att föredra. Tillgänglighet dygnet runt, den beprövade tekniken och en nästan hundra procentig driftsäkerhet väger över till dess fördel.

Slutsatser

Geostationära satellitsystem motsvarar i dagsläget bäst kraven på täckningsområde och driftsäkerhet.

7.4 Taktiska krav

Systemet skall medge kommunikation med ledningsfunktioner och andra förband i land. Det bör kunna hantera ett stort antal användare samtidigt och kunna kommunicera med andra enheter, på ytan och i luften. Kommunikation med ubåt i ytläge är också önskvärt. Gemensam lägesbild mellan typförband samt mellan taktisk chef och underställda förband skall kunna förmedlas.

Analys

Antingen väljer man att köpa en fast trafikförbindelse från punkt A till punkt B eller så köper man kanalkapacitet och hanterar trafiken själv. Exempel på en färdig förbindelse är den som Norska Försvaret utnyttjar till sin del av KFOR styrkan där förbindelsekapacitet tillhandahålls av Telenor (intervju Mats Lindhé, 2001). I SWELINK har ett annat alternativ valts och transponderbandbredd har inköps av Intelsat för förbindelsen mellan Sverige och Kosovo.

Bandbredd kan sägas utgöra det huvudmått som anger vad man köper från satellitoperatören. I vissa fall kan man köpa eller hyra en hel transponder, men det är inte så vanligt. Bandbredd kan i princip köpas i den kvantitet man önskar. Till SWELINK har man köpt 2 MHz bandbredd på Intelsat-707 och till SWEMILSAT motsvarande mängd från Sirius 2. Hur kanalen utnyttjas är sedan upp till användaren och en rad olika konfigurationer kan tänkas. Bandbredden i de flesta civila transpondrar ligger idag på minst 36 MHz. En sådan transponder skulle enkelt medge kommunikation med samtliga mobila enheter inom Försvarmakten.

Något krav att driva trafiken själv finns inte. Redan idag driver Telia försvarets telenät. Väljer man ändå att driva trafiken själv finns möjligheten att välja exakt den satellit man vill ha, dels vad avser täckningsområde, men också vad avser kapacitet, störfasthet, tillgänglighet, kostnad mm. Nackdelen med detta är att man måste driva trafiken i sitt nätverk själv, vilket kräver vissa resurser.

Slutsatser

Marinens fartyg klarar sig med samband via teleoperatör. Ett bättre och billigare alternativ är ändå att själv driva nätverket via köp av transponderbandbredd eller kanske på sikt en egen transponder. Denna typ av systemdrift kan med fördel integreras i befintliga sambandscentraler.

7.5 Överföringskapacitet

Kommunikation skall kunna ske med våra administrativa system iland i nära realtid. Således skall TODAPOST och enklare meddelandetrafik kunna hanteras.

Möjligheter till videokonferens är önskvärt, men är inget absolut krav.

Tjänsteutbudet skall i övrigt motsvara de krav man ställer på civila fartyg, tex. vad avser möjligheter till fax, väderrapporter och nautisk information.

Analys

Kraven på överföringskapacitet är direkt avhängiga av vad man vill kunna föra över. Gäller överföringen realtidsdata ökar naturligtvis kraven på överföringshastighet, tillförlitlighet och tillgänglighet. Är det fråga om administrativ trafik eller stabsarbete kan kraven på snabbhet sänkas något. Anslutning till försvarsmaktens administrativa system och meddelandesystemet TODAPOST kräver normalt inte några stora bandbredder och kan därför inte anses gränsättande utan man kan nöja sig med överföringshastigheter på 56 kbit/s.

Som administrativ kanal vid tex. internationella operationer krävs kapacitet för större data mängder, men utan absolut tidskrav. Även här kan man således nöja sig med överföringshastigheter runt 56 kbit/s.

Mer avancerade tjänster av typen realtidskommunikation med överföring av stora datamängder ställer helt andra krav på hela systemet från antenn till mottagarterminal. Då krävs bla en säker följdning och överföring till och från satelliten. I dessa fall kommer överföringskapaciteter på över en Mbit/s att erfordras.

För att utgöra ett kompletterande taktiskt sambandsmedel skall systemet kunna överföra den trafik som normalt överförs via det taktiska radionätet dvs. mållägesinformation, ordermallar, fritextmeddelande och vapeninsatsparametrar. Detta utgör i sig inga märkvärdiga krav och innebär inget större behov av överföringskapacitet. Även här kan man således nöja sig med en kapacitet på runt 56 kbit/s.

För att utnyttja Internet krävs inte större överföringskapaciteter än för en vanlig hemdator. Skall man däremot realtidsutnyttja Internet som kommunikationskanal kan överföringshastigheter motsvarande några Mbit/s ibland vara nödvändiga.

För att ett fartyg skall kunna fungera som ledningsplattform i internationella operationer bör även möjlighet till tex. videokonferens finnas. Prov (SWEMILSAT-proven, 1999) har visat att med en överföringshastighet på drygt 300 kbit/s får man en nästan ostörd bild. Skall man däremot överföra databaser, överföra spaningsdata från flygspaning eller överföra satellitbilder ökar kraven och behovet. Flygspaningsinformation tex., kommer vara av storleksordningen Gbit i framtiden.

Slutsatser

För att klara av måldatatrafik, taktisk meddelandetrafik, fax, väderprognoser, administrativ trafik mm räcker det med en överföringskapacitet på 64 kbit/s. Vill man kunna genomföra videokonferenser med god bildkvalité krävs ca 300 kbit/s.

7.6 Tidskrav

Taktisk trafik som skall kunna hanteras bör åtminstone omfatta realtidskommunikation, dvs. trafiken får inte innehålla större fördröjningar än fem sekunder (tidssynkning i äldre system) vid överföring av målläge och måldata, samt order- och rapportmallar. Spaningsinformation mellan olika sensorer bör också kunna utbytas i realtid.

Analys

Skall man kunna realtidskommunicera diskvalificeras system som Orbcomm (se bilaga 8) då detta system lagrar och levererar data vid satellitpassage. Detta gäller även LEO-system med begränsat täckningsområde. Kvar finns egentligen bara två alternativ, GEO-system eller ett i framtiden fullt utbyggt LEO-system.

Kraven på små fördröjningar ställer indirekt också krav på att den fartygsmonterade antennen kan följa satelliten kontinuerligt. Detta innebär att antennen måste förses med någon form av stabilisering.

Slutsatser

Marinen bör satsa på system byggt kring geostationära satelliter då endast dessa motsvarar kraven realtids- eller nära realtidskommunikation.

Fartygens antenner måste vara konstruerade för att följa satelliten kontinuerligt.

7.7 Störfasthetskrav

Systemet behöver inte kunna motstå störsändning. Däremot skall systemet klara av atmosfärriska och meteorologiska störningar.

Analys

Civila kommunikationssystem har i allmänhet sämre störskydd än militära. Genom att köpa bandbredd kan Försvaret dock tillföra egna krypterings- och störskyddsmetoder. En sådan teknik kan vara bandspridning (spread spectrum) som möjliggör att störhotet kan mötas i rimlig grad. Det är ändå oundvikligt att en effektiv användning av bandspridning medför ytterligare kostnader, eftersom man då nyttjar större bandbredd än annars nödvändigt. Bandbredd kostar pengar, åtminstone som satellit-/ transponderhyra. Om bandspridning kombineras med kodmultiplexering (CDMA) kan kostnadsökningen dock motverkas.

Vid värderingen av satellitkommunikationens resistens mot störning måste dock påpekas att användningen av denna typ av kommunikationslänk som komplement till de idag tillgängliga kanalerna i sig medför ökad störtålighet. Det kan innebära att kommunikation blir möjlig i situationer där man annars ej kunnat lösa kommunikationsbehovet. Det kan också innebära att en störare, för att förhindra kommunikation, måste angripa flera olika typer av kommunikationslänkar samtidigt, något som är mycket resurskrävande. Således kan satellitkommunikation aldrig ge sämre förhållande än om man är helt utan denna möjlighet.

Slutsatser

Civila satellitkommunikationssystem är normalt inte byggda för att kunna klara av störsändning.

Utnyttjande av civila system innebär i sig ett störskydd då mångfalden av satelliter och system gör det svårt att störa ut alla samtidigt.

7.8 Signalskydds krav

Krypterad sändning skall var möjlig, dock behöver inte all sändning kunna vara krypterad.

Analys

I de flesta geostationära satellitsystem sker idag ingen signalbehandling utan kanalen är vad man kallar transparent. I dessa system är det således inga problem att skicka krypterad trafik. I framtiden talar man dock om mer avancerad signalbehandling i satelliten, vilket kan innebära begränsningar i användarens frihet att kryptera eller koda sina meddelanden.

Slutsatser

Det är inga problem att skicka krypterad trafik via satellit. Dagens svenska kryptosystem kan utnyttjas.

7.9 Allmänna tekniska krav på fartygsterminaler och antenner

Satellitkommunikationssystemet skall i grunden utgöras av kommersiellt tillgänglig, publik hyllvara (COTS). Utomhusdelar av systemet (antenn mm) får modifieras och utvecklas.

Analys

Allt fler försvarsapplikationer bygger idag på helt civila komponenter. Andelen civila datorer och datorsystem har också ökat markant de senaste åren. Vad gäller mer avancerade system (vapensystem, ledningssystem och sambandssystem) har det funnits en motvilja mot att helt övergå till civila komponenter då dessa ansetts ha sämre driftsäkerhet. I dagens läge torde dock utnyttjandet av denna teknik vara allmänt accepterat.

En fördel med att köpa färdigproducerade hyllvaror är också att systemet är klart, vilket innebär att det kan driftsättas nästan omgående. En tredje fördel är att priset generellt sätt är lägre på ”massproducerade” varor än på specialartiklar.

Slutsatser

Marinen bör köpa ett COTS-baserat, civilt satellitkommunikationssystem, då detta är det billigaste alternativet och snabbt kan driftsättas.

7.10 Frekvensval

Frekvensvalet styrs av operationsområdet och inom detta tillgängliga satelliter.

Analys

De flesta geostationära kommersiella kommunikationssatelliter återfinns i dagsläget i frekvensområdet runt 1,5 GHz. Några system som tex. det svenska Sirius systemet har dock transpondrar på 12/14 GHz bandet. Den framtida utvecklingen av satelliter i icke-stationära banor kommer förmodligen innebära en övergång till betydligt högre frekvenser, ända upp till 60 GHz.

Det är alltså operatörens val av frekvensområde till sitt system som avgör vilket frekvensområde användaren kan utnyttja. Frekvensvalet blir då direkt knutet till den operatör man väljer.

Frekvensen styr indirekt också överföringskapaciteten. Högre frekvens medger att större mängder information kan överföras per tidsenhet. Det är önskvärt att ha både hög överföringskapacitet och god täckning. Atmosfärens påverkan på radiovågor gör dock att det blir svårt att utnyttja riktigt höga frekvenser till geostationära satelliter. På lägre banhöjder är dock atmosfärens inverkan försumbar och högre frekvenser kan utnyttjas.

Slutsatser

Möjligheten att välja frekvensområde är begränsat och helt beroende av valet av operatör. Den svenska Sirius-satelliten utnyttjar 12/14 GHz-bandet, medan de flesta stora internationella systemen ligger på frekvenser runt 1,5 GHz. Hög frekvens är önskvärt då detta ger större överföringskapacitet.

7.11 Antennstorlek och vikt

Antennen skall storleks- och viktmässigt kunna installeras utan omfattande ombyggnationer av överbyggnad eller mastarrangemang.

Fartygen skall efter installation behålla sina stabilitets- och sjöegenskaper.

Analys

Antennens storlek är proportionell mot det våglängdsområde den arbetar på, dvs. en lägre frekvens innebär en större antenn. En antenn som arbetar i INMARSAT-A systemet kräver tex. en reflektor med 1,2 meters diameter.

Marinens fartyg är med några undantag idag förhållandevis små. Ett högt placerat viktillskott på över 100 kg (INMARSAT-A antenn) medför en förskjutning av fartygets tyngdpunkt och ger därmed ett mindre stabilt uppträdande till sjöss. För att lösa detta kan man tex. flytta ner antennen, men då riskerar man att den fria siktlinjen i vissa riktningar skymms av mast, skorsten eller annan högt placerad utrustning. Ett bättre alternativ är då att ändra antennkonfigurationen genom att dela upp horisonten på flera antenner, något som är mycket vanligt på tex. kryssningsfartyg och färjor.

Det bästa alternativet är att dock använda elektroniskt styrbara antenner. Dessa är en så länge ganska dyra, men den tekniska utvecklingen gör att priset ständigt blir lägre. Fördelarna med elektroniska antenner är att de inte innehåller några rörliga delar utan kan integreras i fartyget och placeras så att de varken påverkar viktförhållande, övriga system eller radarmålearea, något som gör denna typ av antenn mycket lämplig för tex. korvetter av Visby-klass.

Slutsatser

För att bibehålla fartygens stabilitet bör man dela upp horisonten i sektorer och utnyttja två eller flera lägre placerade antenner. Det bästa alternativet är att använda elektroniskt styrda antenner.

7.12 Riktning noggrannhet

Systemet skall klara av att kontinuerligt följa satelliten för att möjliggöra trafik utan avbrott.

Analys

För att få en antenn med bra förstärkning och liten lobbredd krävs en riktantenn. För att klara av sändning och mottagning till sjöss krävs förmåga att stabilisera antennen för att motverka fartygets rörelse, vilket kan ske antingen med mekanisk styrning av antennen eller med en elektroniskt styrd antenn. Det finns idag elektroniskt styrda antenner för mobil kommunika-

tion via satellit på Ku-bandet, för både mottagning och sändning. För sändning finns det dock speciella restriktioner som måste uppfyllas för att inte trafiken skall störa andra operatörer.

Att kunna rikta antennen är naturligtvis inget krav om man kommunicerar via system i icke-stationära banor där rundstrålande antenner kan utnyttjas på markterminalerna.

Slutsatser

För att medge kontinuerlig följning av satelliten måste antennen vara stabiliserad.

7.13 Hållfasthets- och miljökrav

Kraven på satellitkommunikationsutrustning skall motsvara kraven på övriga anläggningar ombord, tex. vanliga civila datorer dvs. ingen militärspecifikation erfordras.

Systemet skall tåla inom operationsområdet rådande meteorologiska förhållande under alla årstider.

System placerade utomhus skall klara krängningskrav, vibrationer, regn, saltöverspolning mm. Även system placerade inne i fartyget skall klara av påfrestningar som uppkommer på grund av den marina miljön tex. krängning.

Analys

Civila satellitkommunikationssystem är konstruerade för att klara av de påfrestningar som uppkommer till följd av tex. sjöhävning. Således kan man förutsätta att utrustningen håller för de påfrestningar som uppkommer till följd av normalt uppträdande i marin miljö.

Påverkan från tex. artillerisystem klarar förmodligen de flesta civila system dock inte av. Hänsyn måste alltså tagas till de system som skärper hållfasthets- och miljökrav.

Slutsatser

Ett civilt kommunikationssystem kan monteras ombord utan modifiering vad avser hållfasthet. Undantag utgörs av påfrestningar som uppkommer från utnyttjande av vapensystem.

7.14 Installationskrav

Antennen eller antennerna skall vara möjliga att installera i befintliga bryggkomplex eller mastarrangemang utan att övrig utrustning störs eller inskränks i sin funktion. Mindre ombyggnationer kan tillåtas.

Antenninstallationen får inte märkbart påverka radarmålyta. Befintligt mastarrangemang bör kunna utnyttjas. Systemet bör medge 360°- täckning.

Analys

Mastarrangemang och bryggkomplex på våra örlogsfartyg är redan i nuläget ganska maximerade vad avser antenner och annan utrustning. Ytterligare antenner kan ge negativ påverkan på andra system vad avser sändnings- och mottagningsförhållande.

Slutsatser

För att inte konkurrera med annan högre prioriterad utrustning bör antennen placeras lägre, tex i höjd med sikten till artillerisystem.

7.15 Tekniska prov och förberedelser

Innan systemet levereras bör tekniska prov och förberedelser genomföras för att analysera påverkan på andra delar i fartyget tex. uppkommen radiofrekvent strålning. Påverkan på fartygets stabilitet och hållfastheten hos antenner och master bör självklart också klarläggas.

Analys

Inköp av ett färdigt fartygssystem innebär att de flesta krav för montering och drift i marin miljö borde vara uppfyllda.

Slutsatser

En provanläggning bör inköpas och utvärderas. Proven får inte ta längre tid än tre månader.

7.16 Gränssnitt

Systemet skall ha standardiserade gränssnitt för anslutning av militära och civila terminaler.

Systemet skall kunna integreras i nuvarande och planerade svenska lednings- och sambands-system.

Systemet skall kunna integreras med övrig sambands- och ledningsutrustning ombord.

Analys

I och med SWIPSAT avser man ta ett steg mot Försvarets nya samband som skall baseras på IP-protokoll. Tanken är att FM om ett antal år helt skall använda IP som format. Konvertering av olika system under övergångsperioden kommer lösas på olika sätt beroende på vilket system det är frågan om.

Slutsatser

Om integration i befintliga system är komplicerat kan en s.k. "stand-alone" lösning övervägas.

7.17 Ekonomiska aspekter

Systemet bör ha en låg total- och drifekonomi.

Analys

Kostnaden för inköp av ett fartygssystem för geostationär satellitkommunikation är ca en miljon kronor (intervju med Mats Lindhé). Vid inköp av flera system från samma leverantör blir förmodligen styckpriset lägre. Utöver detta tillkommer kostnader för installation och underhåll av systemen.

Investeringen i satellitsystem innebär förutom inköp av antenner, system, reservdelar, underhåll mm även en form av löpande hyreskostnad för satellitkanalen, som kan vara antingen en större fast kostnad för en viss mängd bandbredd, en hel transponder eller en avgift per samtalstid eller dataöverföringsmängd. Trafikkostnaden för transponderbandbredd är ca en miljon per megahertz och år (intervju med Mats Lindhé). Samtalskostnaden varierar från operatör till operatör, men ligger på mellan 10-100 kr per minut. Trots att detta vid första anblicken verkar

betydligt billigare är det inte säkert att kostnaden totalt sett blir lägre, en erfarenhet som danska marinen gjorde under operation Sharp Guard i Adriatiska havet (intervju med Kk Per Möller Nielsen, 2001).

Slutsatser

Kostnaden för inköp av ett civilt satellitkommunikationssystem är ca en miljon kronor per system. Utöver detta tillkommer kostnader för installation, integration och underhåll.

Det billigaste driftsalternativet är att köpa transponderbandbredd och själv driva trafiken.

7.18 Övriga krav

Systemet bör kunna fungera som kompletterande "welfare-kanal" vid internationella operationer.

Analys

Erfarenheterna från KFOR-styrkan i Kosovo visar på betydelsen att systemet kan utnyttjas även för privat trafik av e-post typ. Skall man vara borta längre tid hemifrån är det av oerhörd vikt att på ett enkelt sätt regelbundet kunna hålla kontakt med familjen. Även US Navy har mycket god erfarenhet av att kunna erbjuda Internet-service åt sin personal.

Slutsatser

Systemet bör vid tider med lägre belastning även kunna utnyttjas för privat e-post trafik.

8 Framtidsaspekter

8.1 Allmänt

Kraven på snabb och korrekt informationsöverföring betonas alltmer, pådrivet av behovet av ökad samverkan och användning av avancerade vapensystem. De militära sambandssystemen måste kunna svara emot krav på hög kapacitet, varierande trafikbehov, störtålighet och övrigt

trafikskydd. Sedan många år finns stabilitet i både teknik och marknad när det gäller mer traditionell satellitkommunikation via geostationära satelliter. Väsentliga delar av den satellitkommunikation, som är tilltänkt inom ramen för LedsystT, bygger på denna teknik. Det handlar om utveckling av system som redan idag nyttjas, exempelvis av Sverige på Balkan och för amerikanska UAV-system, alltså geostationära satelliter med regional täckning.

Utvecklingen beträffande annan satellitkommunikation visar lite större osäkerheter. System för persontelefoni via lågflygande satelliter har nyligen tagits i bruk (Iridium och Globalstar) och fler är på väg (ICO). Marknaden synes dock inte var så lysande som förutspåddes för bara några år sedan, både Iridium och ICO har varit nära eller i konkurs.

Kanske kommer de båda satellitkommunikationsprinciperna, lågtflygande persontelefonisystem för världstäckning och geostationära satelliter för punkt till punkt samband med hög kapacitet före 2010 att utvecklas mot driftsatta system av det slag som nu projekteras under namnet "Internet in the sky". Denna typ av system kombinerar hög kapacitet med hög tillgänglighet. Satellitkommunikationsdelen i FMI 2020 bygger i stor utsträckning på användning av system som Teledesic.

Slutsats

Idag liksom i den nära framtiden kommer marknaden att domineras av geostationära satellitsystem.

8.2 Redundans

Kommunikationsmöjligheterna mellan människor, med hjälp av olika elektroniska medel, utvecklas hela tiden och denna utveckling styrs av internationella företag. Sannolikt kommer dessa företag att drivas med marknadsmässiga krav på att lämna vinst till sina ägare. De olika tekniska lösningarna väljs utifrån att de skall vara billiga och erbjuda den service som efterfrågas. Intresset för investeringar som på lång sikt skulle kunna höja säkerheten vid olika konflikter bedöms därför inte alltid vara så stor. Det går inte att bortse från risken att systemen byggs för att klara enbart fredstida påfrestningar. Samtidigt innebär den stora utbyggnaden i sig att en flexibilitet och redundans byggs in i systemen.

Slutsats

Det redan idag stora antalet system och operatörer på den kommersiella marknaden kommer öka ytterligare. Detta innebär indirekt att risken för påverkan på varje system troligen minskar.

8.3 Framtid för militär satellitkommunikation

Även om fler och fler nationer skaffar sig egna satelliter ligger framtiden för större militära rymdprojekt troligen i att flera länder samverkar.

Det amerikanska US Defence Satellite Communication System (DSCS) står inför ett generationsskifte omkring år 2005. Det innebär att den teknik som nu är under utveckling kan komma tillämpas i den nya satellitgenerationen. Även de europeiska systemen står inför ett generationsskifte kring år 2005. För såväl Skynet som Syracuse har man planerat att i nästa generation införa styrbara antennlobber , kommunikation på EHF-banden och signalbehandling ombord i satelliten.

Slutsats

Sverige har möjlighet att visa intresse för att delta i nästa generations sameuropeiska militära satellitprojekt.

8.4 Framtiden för civil kommunikation

Förmodligen får vi se en ganska skarp indelning i två kategorier av tjänster. Alla funktioner som klarar sig med en liten bandbredd kommer sannolikt att förenas i samma system och samma "telefon" (användarterminal). Detta gäller främst taltrafik, personsökning, korta meddelande, positionering och låghastighetsdata för tex. email. Möjligheterna är desamma som för dagens GSM, och denna utveckling samordnas förmodligen.

Den andra systemtypen är bredbandsystem med mycket hög kapacitet för tvåvägsöverföring av data, videokonferenser, film mm. Effekten skulle kunna bli som satellit-TV med full duplex. En variant av bredbandssatkom är system av typen DirectPC där man använder satellitsystemet för direkt nerladdning till mottagaren, som i sin tur sänder sina instruktioner till satel-

liten via ordinarie marknät med en central upplänk. Sådana system kan göras mycket enkla och billiga, eftersom användarna inte behöver sändningskapacitet till satelliterna.

Med signalbehandlingsfunktioner som möjliggör separation av ett stort antal kanaler, kan täckning och resurstilldelning anpassas efter momentana behovet hos olika användare. Tekniken möjliggör också användning av adaptiv störundertryckning. Genom att anpassa datatakten efter störningen kan störningen motverkas dvs. det går till viss gräns att få fram information trots störning om datatakten reduceras.

Slutsats

Överföringskapacitet och överföringshastigheter kommer att öka i takt med den tekniska utvecklingen.

9 Slutsatser

9.1 Behövs satellitkommunikation på Marinens fartyg ?

Marinens fartyg motsvarar idag inte de krav som ställs på enheter som skall delta i NATO-ledda internationella fredsbevarande operationer. Dessutom ligger marinen efter armén och flygvapnet vad gäller anskaffning av satellitkommunikation och kommer 2004 troligen inte nå upp till ställda mål.

För Marinens del utgör satellitkommunikation en nödvändig investering för att kunna delta i internationella operationer. Våra nuvarande system har begränsad täckning utanför Östersjön och Skagerack och räcker inte för den trafikmängd sådana uppdrag innebär. Våra fartyg måste kunna kommunicera både med Sverige och med en internationell stabsfunktion iland utan att vara beroende av någon annan stat. Vid övningar eller operationer i vårt närområde utgör satellitkommunikation ett utomordentligt komplement till ordinarie samband.

Framtiden innebär också troligen ett behov av väsentligt större överföringskapacitet, något som satellitkommunikation är väl lämpat att klara av.

9.2 Vilka möjligheter finns att skaffa ett satellitkommunikationssystem ?

Försvarsmaktens från 1995 fastställda inriktning pekar på att som huvudsambandsmedel för viktig militär trafik bör endast kvalificerade system komma ifråga, vilket innebär ett satellitkommunikationssystem uppbyggt kring en egen satellit. Ett alternativ är att genom internationellt samarbete få tillgång till ett kvalificerat satellitkommunikationssystem, men då blir förstås inte tillgängligheten längre odiskutabel. En tredje möjlighet är att köpa satellitkommunikation som en helt civil tjänst. Då finns det naturligtvis en rad begränsningar vad gäller drift, störsäkerhet, frekvenser mm som vi inte själva disponerar över, men å andra sidan blir systemet billigare.

Den säkerhetspolitiska utvecklingen har gjort att risken för en större konflikt i vårt närområde för tillfället synes mindre trolig. Detta är en av grundförutsättningarna för de politiska besluten om neddragning och ominriktning av Försvarsmakten. Hoten mot sambandsfunktionen har också minskat och möjligheten att utöka det militära sambandet med civila alternativ har blivit realistiskt (intervju med Anders Eklund).

Militära satelliter eller sådana som används militärt löper större risk att bli utsatta för störning än civila satelliter. Internationella satelliter som ägs av flera ägare som inte är part i en konflikt löper mindre risk att utsättas för störning än satelliter med en ägare. Ju mer tekniskt avancerad motståndaren är ju större är risken för störning. Ju globalare konflikt desto större risk att en satellit blir utsatt för störning oavsett vem ägaren är. Civila satellitkommunikationssystem är normalt inte byggda för att kunna klara av störsändning. Användaren kan dock tillföra både störskydd och trafikskydd till sin kanal för att minska denna risk. Försvarets nuvarande kryptosystem kan då utnyttjas som trafikskydd. Satellitkommunikation innebär dock i sig ytterligare en överföringsmöjlighet vilket aldrig kan försämra kommunikationsförhållandena.

En av anledningarna till att Sverige ännu inte utnyttjat satellittjänster i någon större utsträckning torde härröra från kostnadsaspekter (intervju med Ulf Ekblad, 13 feb, 2001). Uppfattningen har varit att de operativa kraven inte medgivit en kommersiell upphandling utan endast en satellit under suverän kontroll har ansetts acceptabel. Den omsvängning som skett i synen på kompletterande civila system har dock gjort att satellitkommunikation kommit inom den

kostnadsmässiga räckvidden. Detta tillsammans med det faktum att civila satellitsystem väl motsvarar de krav som kan ställas på ett system som skall användas till såväl operativa och taktiska ändamål som administrativ trafik gör en upphandling realistisk.

9.3 Vilken typ av system bör i så fall anskaffas ?

Huvuddelen av alla kommunikationssatelliter återfinns i geostationär bana. En snabb utbyggnad av system med andra banprofiler förväntades i början av 90-talet, men de gigantiska investeringskostnaderna har gjort att endast ett par system idag är i drift.

Med tanke på den osäkerhet som råder kring de icke-stationära systemen bör i första hand ett geostationärt system övervägas. Geostationära satellitsystem motsvarar i dagsläget också bäst kraven på täckningsområde och driftsäkerhet.

Val av system eller operatör är knutet till geografiskt område. Sverige äger själv satelliterna Sirius 1 och 2 och deltar i de stora internationella satellitorganisationerna Intelsat och Eutelsat. Full kontroll har man bara över nationella system. Trots detta kan en internationell operatör vara att föredra då de kan erbjuda global täckning.

Satellitkommunikation köps som punkt till punkt förbindelse av en teleoperatör eller så hyr man önskad transponderbandbredd på samma sätt som SWELINK och SWEMILSAT från en satellitoperatör, vilket ger en billigare trafik och är flexiblare, men erfordrar vissa driftresurser. Ett tredje alternativ är att erlægga avgift per samtal eller för en viss mängd data.

Marinens fartyg klarar sig med samband via teleoperatör, men det förordade alternativet blir ändå att hyra bandbredd eller en hel transponder på årsbasis och själv driva trafiken. Fördelarna med detta har klart visat sig vid drift av SWELINK och prov med SWEMILSAT.

9.4 Hur skall systemet tekniskt sett vara uppbyggt ?

Behovet av överföringskapacitet är knutet till vad som skall överföras. De Marina kraven utgörs idag främst av taktisk trafik i realtid och administrativ trafik. För att klara av måldatatrafik, taktisk meddelandetrafik, fax, väderprognoser och administrativ trafik krävs en överföringskapacitet på 64 kbit/s. Enklare meddelandetrafik innebär att lägre överföringshastigheter, ända ned till 24 kbit/s kan accepteras. Vill man däremot överföra stora datamängder eller kunna genomföra videokonferenser med bra bildkvalité krävs betydligt högre kapacitet vilket innebär hastigheter på ca 300 kbit/s och uppåt.

Valet av frekvensområde är helt beroende på valet av operatör. Den svenska Sirius-satelliten utnyttjar 12/14 GHz-bandet, medan de flesta stora internationella systemen ligger på frekvenser runt 1,5 GHz.

Kommunikation via geostationära satelliter kräver riktantenner. För att fölning skall kunna ske även till sjöss måste antennen gå att stabilisera. Antenner för kommunikation på 1,5 GHz-bandet är ca 1,2 m i diameter och väger 100 kg. För att bibehålla fartygens stabilitet bör man dela upp horisonten i sektorer och utnyttja två eller flera lägre placerade antenner. Det bästa alternativet är att använda elektroniskt styrda antenner.

Den kommersiella satellitindustrin leder idag utvecklingen. Marinen bör vid inköp av fartygsterminaler och antenner köpa hyllvara (COTS) direkt från tillverkaren eller via en operatör. Möjligheten att beställa ett skräddarsytt system är stora. Valet av tillverkare bör göras med hänsyn till vilken operatör och vilket frekvensområde man valt, men hänsyn bör också tas till möjligheterna att utveckla och uppgradera systemet. Ett ”hyllvarusystem” kostar ca en miljon kronor per anläggning. Utöver detta tillkommer kostnader för installation, integration och underhåll.

Ett civilt satellitkommunikationssystem avsett för fartyg uppfyller marina hållfasthetskrav. De flesta system klarar dock inte av påverkan från fartygets vapen, tex. tryckskillnader vid artilleriskjutningar.

Systemet bör så långt som möjligt enkelt kunna integreras i befintliga ledningssystem och administrativa system, men om detta är komplicerat kan en s.k. "stand-alone" lösning accepteras.

En provanläggning bör inköpas och utvärderas. Provperioden får inte vara längre än tre månader.

Systemet bör vid tider med lägre belastning även kunna utnyttjas för välfärdstrafik motsvarande privata e-postmeddelande.

10 Sammanfattning

Denna uppsats har som syfte att klargöra om kommersiella satellitkommunikationssystem är ett realistiskt och värdefullt komplement till övriga sambandssystem på Marinens fartyg. För att kunna förstå och värdera problem och begränsningar kring ett sådant system är det nödvändigt att först beskriva tekniken kring satelliten, transmissionskedjan, fartygsterminalen och de olika systemtyper som finns på marknaden. Tillsammans med ett antal definierade krav kan man därefter skapa ett underlag för jämförelse och värdering av olika alternativ och slutligen göra en bedömning av möjligheterna till en anskaffning.

I takt med nya uppgifter kommer krav på möjligheter till ett mer flexibelt uppträdande. Inom ramen för bl.a. det säkerhetspolitiska arbetet inom den europeiska unionen skall våra fartyg kunna lösa uppgifter även utanför Östersjön. För att klara av detta krävs att ordinarie sambandssystem byggs ut och kompletteras. Våra fartyg måste kunna kommunicera både med Sverige och med en internationell stab iland utan att vara beroende av någon annan stat. De krav som ställs på länder inom ramen för NATO-ledda operationer innebär att 2004 skall varje land ha satellitsystem för att klara av den egna administrativa trafiken. Dessa krav motsvaras redan av armén och flygvapnet. Marinen kommer dock förmodligen inte att fylla kraven 2004.

Den tidigare synen på att endast samband under full kontroll får förekomma har idag ersatts av ett mer pragmatiskt synsätt som gör att även helt civila system kan utnyttjas för att fylla ut

brister eller luckor i sambandsarkitekturen. Då investeringen i en egen satellit eller ett internationellt samarbete inom området ansetts vara de enda alternativ som möjliggjort tillräcklig driftsäkerhet har civila alternativ aldrig diskuterats. Den säkerhetspolitiska utvecklingen har med förändrade hotbilder och nya uppgifter dock gjort ett civilt alternativ realistiskt.

Geostationära satelliter är fortfarande dominerande inom kommunikationsområdet, trots att satelliter i icke-stationära banor spåddes en lysande framtid i mitten av 1990-talet. Marinen bör därför köpa ett system som är uppbyggt kring antingen våra egna svenska satelliter Sirius eller kring satelliter från någon av de internationella organisationerna där Sverige är delägare. Målsättningen bör också vara att köpa en viss mängd bandbredd och själv driva trafiken då detta är den bästa, kostnadseffektivaste och mest flexibla lösningen. En megahertz bandbredd kostar ca en miljon kronor per år.

Den tekniska utformningen av systemet bör bygga på COTS-produkter. Kostnaden för ett sådant system är ca en miljon kronor. Systemprestanda bör specificeras av vad systemet skall klara av. Vill man tex. kunna genomföra videokonferenser krävs en överföringshastighet på 300 kbit/s, medan man vid överföring av enklare meddelande och måldata kan nöja sig med en väsentligt lägre hastighet. Vilken frekvens systemet skall vara uppbyggt kring styrs av operationsområde och valet av operatör.

För att klara av kontinuerlig trafik måste antennen vara stabiliserad och klara av att följa satelliten. Detta gör att antennvikten inte blir försumbar. Det lämpligaste alternativet blir därför att dela upp horisonten på två eller flera lägre placerade mekaniska antenner eller eventuellt skaffa elektroniskt styrda antenner. Slutligen bör systemet kunna integreras i befintliga sambandssystem. Om inte detta går kan dock en lösning med ett helt fristående system övervägas. Som en extra bonus skall systemet klara av att hantera privat trafik under tider med mindre belastning.

Referenser

Böcker

Elbert, B. R., (1999). *Introduction to Satellite Communication*. Norwood, USA: Artech House Inc,

JANE's Military Communications 1999-2000. (2000).London: JANE's.

JANE's C4I Systems 1999-2000. (2000).London: JANE's.

Ohmori, S., Wakana, H., & Kawase, M., (1998). *Mobile Satellite Communications* (2:a uppl.). London: Artech House Inc.

Rapporter

Ahlin, L. (2001). *Kommunikationssystem och Teleskyddsmetoder*. (Sammanställning). FOA Ledningssystemteknik. Institutionen för Informationsöverföring. Linköping: FOI.

Ekblad, U. (1999). *Militära aspekter på satelliter integrerade i mobila datakommunikationsnät*. FOA-R—99-01228-504—SE. Avdelningen för Ledningssystemteknik. Linköping: FOA.

Ekblad, U. Andersson. Arnzén. Bergdal. Gustavsson. Sohtell, P.(1997). *Militär rymdteknisk utveckling, Användarrapport*. FOA-R—97-00556-503-SE. Linköping: FOA

Sohtell, P. (1995). *Satellitkommunikation En studie av störsäkerhet för militär satellitkommunikation*. SMS/TNT/0010/SE . Linköping: Saab Ericsson Space.

Försvarsmakten.(1995). *Inriktning av utnyttjande av satellit för kommunikation inom Försvarsmakten*. HKV 21 837:72888. Stockholm: Högkvarteret.

Försvarsmakten. (2000). *FMI 2020. Årsrapport från perspektivplaneringen 99-00, Försvarsmaktsidé och målbild –Rapport 4*. HKV 23 210:61977. Stockholm: Högkvarteret.

Försvarsmakten. (2000). *LUST, En försvarsmaktsgemensam studie för ledningsöverläge, årsrapport till HKV, jan 2000*. Stockholm: Högkvarteret.

Försvarets Materielverk. (2000). *Satellitkommunikation i försvaret, Lägesrapport, Fasstyrda Satkom-antenn*. FMV ELEKTRO 21 720:6798/00. Stockholm: Försvarets Materielverk.

Försvarets Materielverk. (2001). *Provsystem SWEMILSAT, slutrapport*. FMV KC Tele 21720:29153/00. Stockholm: Försvarets Materielverk

Försvarets Materielverk. (2001). *Tekniska utvecklingstendenser*. FMV Analys 23210:2515/2001. Stockholm: Försvarets Materielverk

Övrigt källmaterial

Böcker

Gordon, G. D. & Morgan, W. L. (1993). *Principles of Communications Satellites*. New York: John Wiley & sons inc.

Kungliga Tekniska Högskolan. (1994). *Rymdsystem och rymdteknik*. Kurskompendium 4G1342. Institutionen för materielens processteknologi. Stockholm: KTH.

Larson, W. J. & Wertz, J. R. (eds). (1997). *Space mission analysis and design*. Second edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Maral, G. & Bousquet, M. (1998). *Satellite Communications Systems*, Third Edition. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.

Pascall, S,C & Withers, D, J. (1997). *Commercial Satellite Communication*. Oxford: Focal Press.

Pritchard, W,L. Suyderhoud, H, G. & Nelson, R, A. (1993). *Satellite Communication Systems Engineering*. Second edition. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Williamson, M. (1990). *The Communications Satellite*. Bristol: Adam Hilger Publishing Ltd.

Utredningar, rapporter och uppsatser

Asp, B. (2001). *Vågutbredning*. Linköping. Avdelningen för Ledningssystemteknik, FOI.

Backlund, L.(1993). *Vilken roll har kommunikationssatelliterna*. Stockholm: Kungliga Krigsvetenskapsakademien.

Ekblad, U. (1993). *Militär satellitkommunikation rymdsegment och utvecklingstendens*. Stockholm: Kungliga Krigsvetenskapsakademien.

Ivarsson, U. (1999). *Satelliter – möjlighet för svenskt försvar*. LCU 19 100:60 29. Stockholm: Försvarshögskolan.

Ottoson, R. (2001). *Kommunikationsteori*. Stockholm: Militärtekniska Institutionen, Försvarshögskolan.

Ottoson, R. (1999). *Ellära*. Stockholm: Militärtekniska Institutionen, Försvarshögskolan.

Schefté, H. (1993). *Civila satellitkommunikationssystem idag och imorgon*. Stockholm: Kungliga Krigsvetenskapsakademien.

Försvarets Materielverk. (2000). *Satellitkommunikation i försvaret , Kommerisella system – en lägesrapport*. FMV ELEKTRO 21 720/7695/99. Stockholm: Försvarets Materielverk.

Försvarets Materielverk. (2000). *AO-RAPPORT FÖR AO 14690 INOM MS 541 samt milstolperedovisning Milstolpe III/000331 Satellitkommunikation/navigering*. FMV KC TELE 21270:7700/00. Stockholm: Försvarets Materielverk

Försvarets Materielverk. (1999). *SATKOM UBÅT AO-RAPPORT FÖR AO 7529 INOM MS 255 samt milstolperedovisning Milstolpe III/ 000308*. FMV ELEKTRO 21 720:46 594/99. Stockholm: Försvarets Materielverk.

Försvarets Materielverk. (1999). *SJÖMÅL/SATKOM AO-RAPPORT FÖR AO 9782 INOM MS 461 samt milstolperedovisning Milstolpe III/ 991215*. FMV ELEKTRO 21 720:46 594/99. Stockholm: Försvarets Materielverk

Försvarets Materielverk. (1999). *Plan för AO 25300 Satkom BELOS*. FMV MS-229. Stockholm: Försvarets Materielverk.

Försvarets Materielverk. (1998). *Satellite Communication on Submarine, Requirement analysis*. FMV ELEKTRO 21 720/2081/98. Stockholm: Försvarets Materielverk.

Rymdstyrelsen. (1994). *Sverige i rymden*. Stockholm: Rymdstyrelsen

Totalförsvarets Forskningsinstitut. (2000). *FoRMA/PE Årsrapport 2000 – En visionsstudie om Försvarmaktens insatsfunktion*. FOI rapport R—0015—SE. Stockholm: Totalförsvarets Forskningsinstitut.

Totalförsvarets Forskningsinstitut. (1996). *Framtida militär rymdteknisk användning*. FOA-R—96-00245-9.4—SE. Linköping: Totalförsvarets Forskningsinstitut.

Intervjuer

Anders Eklund, HKV KRI LED	01-01-10, 01-01-16
Mats Lindhé, Teknisk expert, FMV KC InfoKom	01-01-30
Ulf Ekblad, FOA, Linköping	01-02-13
Kk Per Möller Nielsen, FHS	01-02-19

Internetadresser

Operatörer

Intelsat. Nov, 2000. URL
<http://www.intelsat.com/>

Tillverkare

Boeing. Nov, 2000. URL
<http://www.boeing.com/satellite/>

Raytheon. Nov, 2000. URL
<http://www.raytheon.com/>

Alcatel. Nov, 2000. URL
<http://www.alcatel.com/space/>

Ball-Aerospace. Nov, 2000. URL
<http://www.ball.com/aerospace/batchp.html>

Thomson-CSF. Nov, 2000. URL
<http://www.thomson-csf.com/thomson-csf.html>

Racal. Nov, 2000. URL
<http://www.racal.com/>

Satelliter

Skybridge. Jan, 2001. URL
<http://www.skybridgesatellite.com/>

Globalstar. Jan, 2001. URL
<http://www.globalstar.com/>

ICO. Jan, 2001. URL
<http://www.ico.com/>

Iridium. Jan, 2001. URL
<http://www.iridium.com/>

Orbcomm. Jan, 2001. URL
<http://www.msceurope.com/news.html>

Sirius. Jan, 2001. URL
http://www.rymdbolaget.com/frame_ssc_facts.htm

Teledesic. Jan, 2001. URL
<http://www.teledesic.com/>

Systemtillverkare

Satpool. Jan, 2001. URL
<http://www.satpool.com/>

Seatel. Jan, 2001. URL
<http://www.seatel.com/>

Telia. Jan, 2001. URL
<http://www.mobilesat.telia.com/>

Övrigt

Geostationary Satellites. Jan, 2001. URL
<http://www.orbireport.com/>

Airclams. Jan, 2001. URL
<http://www.airclams.co.uk/>

Akronymer och förkortningar

A	
ACK	Acknowledgement
ADE	Above-Deck-Equipment
ADM	Adaptive Digital Modulation
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
AGC	Automatic Gain Control
ALC	Automatic Level Control
ALOHA	Algoritm framtagen på Hawaii i slutet av 60-talet. Anger en metod att slumpmässigt dela upp en sambandskanal.
AMSS	Aeronautical Mobile Satellite Service
ARQ	Automatic Repeat Request
AWGN	Additive White Gaussian Noise
B	
BCH-kod	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem kod = Felrättande kodning
BDE	Below Deck Equipment
BER	Bit Error Rate
C	
CDMA	Code Division Multiple Access
CELP	Code-Excited Linear Prediction
CES	Coast Earth Station
COTS	Commercial Of The Shelf = Hyllvara, färdigproducerade produkter direkt klara för konsumentledet.
CPM	Continious Phase Modulation
D	
DAMA	Demand Assignment Multiple Access
dBi	Decibel i förhållande till en isotrop antenn
DISN	Defence Information System Network
Downlink	Kanal från satelliten till jordstationen
DSCS	Defence Satellite Communication System
DTH	Direct-to-Home
E	
EIRP	Effective Isotropically Radiated Power
EME	Externally Mounted Equipment

F	
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FHS	Försvarshögskolan
FM	Försvarsmakten
FMV	Försvarets Materielverk
FOA	Försvarets Forskningsanstalt (nedlagd 2000-12-31 och ombildad till FOI)
FOI	Totalförsvarets forskningsinstitut
FSS	Fixed Satellite Services. Innebär fasta mottagningsstationer eller stationer med en fix position. Huruvida satelliten är geostationär eller ej har ingen betydelse
FTN	Försvarets TeleNät
G	
GBS	Global Broadcast Service
GEO	Geostationary Orbit
GES	Gateway Earth Station
GII	Global Information Infrastructure
GPS	Global Positioning System
H	
HKV	Försvarsmaktens Högkvarter
HPA	High Power Amplifier
I	
IMBE	Improved Multiband Excitation
IME	Internally Mounted Equipment
IPDS	Inmarsat Packet Data Service
ITU	International Telecommunication Union
L	
LEO	Low Earth Orbit
LMSS	Land Mobile Satellite Service
LNA	Low Noise Amplifier
LPC	Linear Predictive Coding
M	
MMS	Multi-Media Satellite
MMSS	Maritime Mobile Satellite Service
MPC	Multipulse-Excited Linear Prediction Coding
MSK	Minimum Shift Keying
MSS	Mobile Satellite Service
N	
NII	National Information Infrastructure
O	
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
Omnidirektionell	Runtstrålande
P	
PARP	Planning And Reviewing Process
PCM	Pulse Code Modulation

PFP	Partnership for peace
Q	
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
R	
RA	Random Access
RHCP	Right-hand circularly polarised
RR	Radio Regulations
S	
SCPC	Single Channel Per Carrier
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SES	Ship Earth Station
T	
TDMA	Time Division Multiple Access
Terminal	Telefonlur, tangentbord, dator, bildskärm mm som används för att ta emot data
Transponder	En komplett mikrovågskanal för sändning från en satellit
TSR	Time Slot Reassignment
U	
Uplink	Kanal från jordstation till satelliten
V	
VSAT	Very Small Aperture Terminal
W	
WRC	World Radio Conference

Kompletterande fakta

Tabell 2:1. Frekvensband indelning

Band	Frekvensband	Benämning	Frekvens
	ELF (Extremely Low Frequency)		300-3000 Hz
4	VLF (Very Low Frequency)		3-30 kHz
5	LF (Low Frequency)		30-300 kHz
6	MF (Medium Frequency)		300-3 GHz
7	HF (High Frequency)		3-30 MHz
8	VHF (Very High Frequency)		30-300 MHz
9	UHF (Ultra High Frequency)	L-band S-band	300 MHz-3 GHz 1-2 GHz 2-4 GHz
10	SHF (Super High Frequency)	C-band X-band Ku-band K-band	3-30 GHz 4-8 GHz 8-12 GHz 12-18 GHz 18-27 GHz
11	EHF (Extremely High Frequency)	Ka-band Q-band Millimeter waves	30-300 GHz 27-40 GHz >40 GHz 40-300 GHz
12		Submillimeter waves	300-3000 GHz

Tabell 2:2. Banparametrar

	Apogeum	Perigeum (km)	Omloppstid	Antal sat	Frekvens	System exempel	Tjänst
GEO	35850	35850	24 tim	3	Ku,C,L	Intelsat, Eutelsat, TELE-X, Inmarsat	Fast, Mobil
HEO1	39100	1000	12 tim	3	C, L	Molniya	Fast, Mobil
HEO 2	50600	21000	24 tim	2	L	Sycomores	Mobil
ICO	10600	10600	6 tim	12	L, S	Odyssey	Mobil
LEO	780	780	100 min	66	L	Iridium	Mobil

Tabell 2:3. Sträckdämpning

Bantyp	GEO			Heo 1	HEO 2	ICO		LEO
Frekvensband	Ku	C	L	L	L	S	L	L
A dB, max	205,4-	196,6-	188,1	188,3	190,2	184,0	178,5	175,6
	207,5	200,1	-189,1					

Satellitesystem och frekvenstilldelning

	1GHz	2	4	8	12	18	27	40	300 GHz Laser
Service	L	S	C	X	Ku	K	Ka	mm- waves	Sub mm- waves
Fixed (FSS)			Tidig INTELSAT (6/4 GHz)		Många nationella system Sirius (Sve) (14/12 GHz)		Nationella system CS (Japan) Olympus (Italien) (30/20 GHz)		
Mobile (MSS)	INMARSAT AMSC (USA) MSAT (Canada) OPTUS (Aus) (1.6/1.5 GHz)	NSTAR (Japan) (2.5/2.0 GHz)					ACTS (USA) (30/20 GHz) COMETS (Japan) (30/20, 47/44 GHz)		
Radio Determination (RDSS)		IRIDIUM (2.5/1.6 GHz)			OmniTRACS (14/12 GHz)				
Radio Navigation (RNSS)	GPS (1.6 GHz) (1.2 GHz)								
Broadcasting (BSS)	Digital Audio 1.5 GHz-World 2.3 GHz-USA 2.5 GHz-Japan				TV (12 GHz)	COMETS (JPN) (21 GHZ)			
Intersatellite (ISS)		TDRS (USA) ETS-VI (Japan)			TDRS (USA) ARTEMIS (ESTEC)		ETS-VI (JPN) COMETS (JPN)	ETS-VI	ETS-VI, ARTEMIS

Frekvenstilldelning för mobil Satcom på L-bandet

Region 1												
Region 2												
Region 3												

Region 1												
Region 2												
Region 3												

Frekvenstilldelning för mobil Satcom på S-bandet

Region 1												
Region 2												
Region 3												

Frekvenstilldelning enligt Warc 92

Fixed mobile 1700-2690 MHz

Space services 2025-2110

FPLMTS (future public land mobile telecommunication systems) 1885-2025 , 2110-2200

MSS region 1 1980-2010 , 2170-2200

MSS region 2 1970-2010, 2160-2200

Operatörer och system

Tabell 4:1. Geostationära system

Operatör/Satellit	Land, Internetadress	Typ av tjänst	Övrigt
AMSC (American Mobile satellite Corporation)	USA		AMSC-satellit 1995
TMI (Telecast Mobile Incorporated)	Canada		
Australsat	Australien		OPTUS-B1, 1992
Intelsat	http://www.intelsat.com/		
PT Telekom			
AsiaSat		FSS	
PanAmSat		FSS	
Loral Skynet		FSS	
GE Americom		FSS	
SES Astra		FSS	
APT Satellite		FSS	
Shinawatra		FSS	
Nahuelsat		FSS	
Direct TV		DTH	
Primestar		DTH	
Echostar		DTH	
Canal+		DTH	
AMSC		MSS	
Ace S		MSS	
Thuraya		MSS	
ACTEL		MSS	
Constellation		MSS	
Rymdbolaget	http://www.rymdbolaget.com/frame_ssc_facts.htm	Sirius	
Eutelsat	http://www.eutelsat.com/		
INMARSAT		INMARSAT-A, B,C,D,M,Mini-M,M-4,P	
TELE-X	Bla Sverige		Rundradio, Tele/Datatjänster
ASTRA 1 A			
Hot Bird 1	Europa	TV-satellit , Broadcast	
Telecom	Europa	TV-satellit , Broadcast	
TDF, TV-Sat			
Kopernikus			
Hispasat			
Italsat			
Turksat			
Asiasat			
Palapa			
Thaisat			
Morelos			
Aussat			
Orion 3			24 C-band och 24 Ku-bands transpondrar

ACTS	NASA och amerikansk satellitindustri	Flera rörliga antennlober. Sigalbehandling ombord	30/20 GHz. Smala antennlober vars diameter på marken är ca 25 mil. 1,5 Mbit/s för videokonferens och data. Normalt 696 Mbit/s. Total bandbredd 2,4 GHz
Artemis	ESA	Mobil kommunikation, samt för överföring av data mellan satelliter.	Överföring både på 23/26 GHz-bandet och med optisk teknik dvs med laser.
Galaxy	USA	TV-satellit , Broadcast	
GE 1	USA	TV-satellit , Broadcast	
COMETS	Japan		Ka-Band och millimetervågor (47/44 GHz)
Mobilesat	Australien	Tal,data och pakettrafik. Systemet är en integrerad del av det Australiensiska Telenätet och betjänar glesbefolkade regioner utan infrastruktur men med för landet livsviktig produktion.	L-Band och Ku-band. Systemet bygger på två geostationära satelliter.
MSAT	Canada		L-band
OPTUS	Australien	FSS	Ku-band 14/12 GHz
JCSAT	Japan	FSS, TV-satellit , Broadcast	Ku-band 14/12 GHz
Superbird	Japan	TV-satellit , Broadcast	
OLYMPUS	Europa	FSS	Ka-band 30/20 GHz
CS	Japan	FSS	
N-STAR	Japan		S-band (2,5/2,0 GHz)
SESAT		Ersätter Eutelsat 2F3 på 36 gr öst	
Hughes Spaceway		MMS	
Astrolink	Lookheed Martin	MMS	
Loral Cyberstar		MMS	
EuroSkyway			Plan drift 2001
Aster			Plan drift 2004
KaStar			Plan drift 2002
WorldSpace			Plan drift 2002
V-stream			Plan drift 2003

Tabell 4:2. LEO-system, "Internet in the sky"

Teledesic	http://www.teledesic.com/		
Skybridge	http://www.skybridgesatelite.com/		Ku-band, kräver 80 cm parabol

Tabell 4:3. Little-LEO

Orbcomm	VHF-bandet		I drift 2000
FAISAT			Test 2002, drift 2003
LEO-one			Test 2002, drift 2003
LEO Sat Courier			Plan Drift 2001
ECCO			Test 2000, drift 2003
ESAT			Låghastighetsdata mellann fasta installationer

Tabell 4:4. Big-LEO

Iridium	http://www.iridium.com/		
Globalstar	http://www.globalstar.com/		

Tabell 4:5. MEO-system

ICO	http://www.ico.com/		
Ellipso			
GESN			Plan drift 2002
OrbLink			Plan drift 2002
Eutelsat			

Geostationära satelliter

Tabell 5.1. De 264 geostationära kommunikationssatelliter som var i drift i mars 2000

Namn/beteckning	Long	Typ/tjänst	Frekvens - Downlink	Anm.
Telecom 2C (France)	3.0E	FSS-Gov/Mil	S/C/X/Ku	
USA 115/ Milstar 2	4.0E	Milcom	P/S/K	
Sirius/Marcopolo 1/BSB R1	5.0E	BSS	Ku	
Sirius 2 (Sweden)	5.0E	BSS	Ku	
Skynet 4D (UK)	6.0E	FSS-Milcom	P/S/X/Ka	
Eutelsat 2F4 (EUTE)	7.0E	FSS	S/Ku	
Eutelsat 2F2 (EUTE)	10.0E	FSS	S/Ku	
Raduga 22 (Ryssland)	11.0E	FSS- Gov/Mil	X/C	
Raduga 29 (Ryssland)	11.3E	FSS- Gov/Mil	X/C	
Cosmos 2224 (Ryssland)	11.9E	FSS- Mil	X	
Eutelsat 2F1 (EUTE)	13.0E	FSS	S/Ku	
Eutelsat 2F6/Hotbird 1 (EUTE)	13.0E	BSS	Ku	
Eutelsat 2F7/Hotbird 2 (EUTE)	13.0E	BSS	Ku	
Hotbird 3 (EUTE)	13.0E	BSS	Ku	
Hotbird 4 (EUTE)	13.0E	BSS	Ku	
Italsat 2 (Italy)	13.1E	FSS/MSS	L/S/K/Ka	
Italsat 1 (Italy)	14.4E	FSS/MSS	S/K/Ka	
Eutelsat 2F3 (EUTE)	16.0E	FSS	S/Ku	
Astra 1A (Lux)	19.2E	BSS	Ku	
Astra 1B (Lux)	19.2E	BSS	Ku	
Astra 1C (Lux)	19.2E	BSS	Ku	
Astra 1E (Lux)	19.2E	BSS	Ku	
Astra 1F (Lux)	19.2E	BSS	Ku	
Astra 1G (Lux)	19.2E	BSS	Ku	
Eutelsat 1F5/ECS 5 (EUTE)	21.5E	FSS	VHF/Ku	
DFS 3 (Germany)	23.5E	BSS	S/Ku/K	
Inmarsat 3 F5 (INMA)	24.0E	MSS	L/C	
Eutelsat 1F4/ECS 4 (EUTE)	25.5E	FSS	VHF/Ku	
Gorizont 20 (Ryssland)	25.7E	FSS	C/Ku	
Arabsat 2A (Arabsat)	26.0E	BSS/FSS	C/Ku	
Astra 1D (Lux)	28.2E	BSS	Ku	
DFS 2/Kopernikus (Germany)	28.2E	BSS	S/Ku/K	
Arabsat 2B (Arabsat)	30.5E	BSS/FSS	C/Ku	
Turksat 1B (Turkey)	31.3E	FSS	Ku	
Intelsat 510 (ITSO)	33.0E	FSS IOR	C/Ku	
Raduga 28 (Ryssland)	35.0E	FSS-Gov/Mil	X/C	
Gals 1 (Ryssland)	36.0E	BSS	Ku	
Gals 2 (Ryssland)	36.0E	BSS	Ku	
USA 65/DSP F15 (USA)	37.4E	FSS-Mil EW IOR	S/X	
Gorizont 31 (Ryssland)	40.5E	FSS	C/Ku	

Turksat 1C (Turkiet)	42.0E	FSS	Ku	
Raduga 1-3 (Ryssland)	48.7E	FSS-Gov/Mil	X/C	
Gorizont 32 (Ryssland)	53.0E	FSS	C/Ku	
Skynet 4B (UK)	53.1E	FSS-Milcom	P/S/X/Ku	
Arabsat 1C (Arabsat)	55.0E	BSS/FSS	S/C	
USA 44/DSCS 3A2 (USA)	57.0E	FSS-Milcom	P/S/C	
Intelsat 703 (ITSO)	57.0E	Intl FSS IOR	C/Ku	
Intelsat 604 (ITSO)	60.0E	Intl FSS IOR	C/Ku	
USA 97/DSCS 3B10(US)	60.0E	FSS-Milcom	P/S/X	
Intelsat 604 (ITSO)	62.0E	Intl FSS IOR	C/Ku	
Inmarsat 3 F1 (INMA)	63.8E	Intl MSS IOR	L/C	
Intelsat 804 (ITSO)	64.0E	Intl FSS IOR	C/Ku	
Inmarsat 2 F3 (INMA)	65.0E	Intl MSS IOR	L/C	
Intelsat 704 (ITSO)	66.0E	Intl FSS IOR	C/Ku	
PanAmSat 4/PAS4 (USA)	68.5E	FSS/BSS IOR	C/Ku	
Raduga 32 (Ryssland)	70.0E	FSS-Gov/Mil	X/C	
Intelsat 505 (ITSO)	71.0E	Intl FSS/MSS APR	L/C/Ku	
USA 95/UFO 2 (USA)	71.1E	FSS-Milcom IOR	P/S	
Ops 6391/FltSatCom F1 (USA)	72.7E	FSS-Milcom IOR	P/S	
USA 111/UFO 5 (USA)	72.8E	FSS-Milcom IOR	P/S/K	
Marisat 2 (USA)	73.0E	MSS IOR	(P/L/C)	
Insat 2A (Indien)	73.9E	FSS	S/C	
Apstar 2R (Kina)	76.5E	FSS	C/Ku	
Luch 1-1 (Ryssland)	77.1E	FSS	Ku	
Thaicom 2 (Thailand)	78.5E	FSS	C/Ku	
Thaicom 3 (Thailand)	78.5E	FSS/BSS	C/Ku	
Cosmos 2319 (Ryssland)	79.6E	FSS-Datalänk	C	
Gorizont 24 (Ryssland)	80.0E	FSS	C/Ku	
Express 2 (Ryssland)	79.9E	Intl FSS	C/Ku	
Zhongxing 1/DFH2-A1/PRC 22 (Kina)	81.5E	FSS	C	
Insat 1D (Indien)	83.0E	BSS/FSS	S/C	
Raduga 30 (Ryssland)	83.8E	FSS-Gov/Mil	X/C	
TDRS F3 (USA)	85.7E	FSS-Gov	C/S/Ku	
Gorizont 28 (Ryssland)	90.0E	FSS	C/Ku	
Measat 1 (Malaysia)	91.5E	FSS	C/Ku	
Insat 2B (Indien)	93.5E	BSS/FSS	S/C	
Insat 2C (Indien)	93.5E	BSS/FSS	S/C/Ku	
Gorizont 27 (Ryssland)	96.3E	FSS	C/Ku	
Indostar 1 (Indonesien)	96.7E	BSS/DARS	L/S	
Zhongxing 3/DFH2-A3/PRC 26 (Kina)	97.8E	FSS	C	
Ekran 20 (Ryssland)	98.4E	BSS	P	

Asiasat 2 (AC)	100.5E	BSS	C/Ku	
Gorizont 25 (Ryssland)	103.0E	FSS	C/Ku	
Asiasat 1 (AC)	105.5E	BSS	C	
Palapa B2R (Indonesien)	108.0E	FSS	C	
BS 3N (Japan)	108.8E	BSS	Ku	
BS 3A/Yuri 3A (Japan)	108.8E	BSS	S/Ku	
BSAT 1A (Japan)	110.0E	BSS	Ku	
Zhongxing 2/DFH2-A2/PRC 25 (Kina)	110.4E	FSS	C	
Palapa C2 (Indonesien)	113.0E	FSS	C/Ku	
Zhongxing 5/Chinasat 5/Spacenet 1 (Kina)	115.3E	FSS	C/Ku	
Koreasat 1/Mugunghwa 1 (Korea)	116.0E	BSS/FSS	Ku	
Koreasat 2/Mugunghwa 2 (Korea)	116.0E	BSS/FSS	Ku	
Palapa B4 (Indonesien)	117.8E	FSS	C	
Thaicom 1 (Thailand)	120.0E	FSS	C/Ku	
Gorizont 30/Rimsat 2 (Ryssland)	122.0E	FSS	C/Ku	
JCSAT 4 (Japan)	124.0E	FSS	Ku	
Zhongxing 8/DFH3-2(Kina)	125.0E	FSS	C	
Raduga 27 (Ryssland)	127.5E	FSS-Gov/Mil	X/C	
JCSAT 3 (Japan)	128.0E	FSS/BSS	C/Ku	
N-Star 1 (Japan)	131.8E	FSS	S/C/Ku/K	
Apstar 1A (Kina)	134.0E	BSS	C	
N-Star 2 (Japan)	135.9E	FSS	S/C/Ku/K	
Apstar 1 (Kina)	138.0E	BSS	C	
Gorizont 22 (Ryssland)	140.0E	FSS	C/Ku	
Agila 1/Palapa B2P (Filippinerna)	140.5E	FSS	C	
Superbird C (Japan)	144.0E	FSS	Ku/K	
Gorizont 21 (Ryssland)	145.0E	FSS	C/Ku	
USA 39/DSP F14 (USA)	145.4E	FSS/Mil EW	S/X	
Agila 2/Mabuhay 1 (Filippinerna)	146.0E	FSS	C/Ku	
Measat 2 (Malasiya)	148.0E	FSS	C/Ku	
JCSAT 5 (Japan)	150.0E	FSS	Ku	
Palapa C1 (Indonesien)	150.5E	FSS	C/Ku	
Optus A3/Aussat K3 (Australien)	151.9E	FSS	Ku	
JCSAT 2 (Japan)	154.0E	FSS	Ku	
Optus B3 (Australien)	156.0E	FSS/MSS	L/Ku	
Intelsat 503 (ITSO)	156.8E	Intl FSS APR	C/Ku	
Superbird A (Japan)	158.0E	FSS	Ku/K	
Optus B1 (Australien)	160.0E	BSS/MSS	L/Ku	
Gorizont 29/Rimsat 1 (Ryssland)	161.0E	FSS	C/Ku	
Superbird B (Japan)	162.0E	FSS	Ku/K	
Optus A2/Aussat 2 (Australien)	163.9E	FSS	Ku	
USA 130/DSP F18 (USA)	165.0E	FSS- Mil EW POR	S/X	
PanAmSat 2/PAS 2 (USA)	169.0E	Intl FSS POR	C/Ku	

Ops 6394/FltSatCom F4 (USA)	171.5E	FSS-Milcom POR	P/S/X	
UHF-F8 (USA)	172.0E	FSS-Milcom	P/S/K/Ka	
Intelsat 802 (ITSO)	174.0E	Intl FSS POR	C/Ku	
USA 93/DSCS 3B9(USA)	175.0E	FSS-Milcom WPAC	P/S/X	
Intelsat 702 (ITSO)	177.0E	Intl FSS POR	C/Ku	
Inmarsat 3 F3 (INMA)	177.9E	Intl MSS POR	L/C	
Inmarsat 2 F1 (INMA)	178.9E	Intl MSS POR	L/C	
USA 12/DSCS 3B5 (USA)	180.0E	FSS-Milcom WPAC	P/S/X	
Intelsat 701 (ITSO)	180.0E	Intl FSS POR	C/Ku	
USA 108/UFO 4 (USA)	177.6W	FSS-Milcom POR	P/S/K	
Intelsat 503 (ITSO)	177.0W	Intl FSS POR	C/Ku	
TDRS F5 (USA)	174.3W	Intl FSS-Gov	C/S/Ku	
USA 138/UFO 8 (USA)	172.0W	FSS-Milcom POR	P/S/K/Ka	
TDRS F7 (USA)	171.3W	Intl FSS-Gov	C/S/Ku	
Raduga 25 (Ryssland)	170.0W	FSS-Gov	X/C	
Aurora II/Satcom C5 (USA)	139.0W	FSS	C	
Satcom C1 (USA)	137.0W	FSS	C	
USA 78/DSCS 3B14 (USA)	135.0W	FSS-Milcom EPAC	P/S/X	
SatCom C4 (USA)	135.0W	FSS	C	
Galaxy 1R (USA)	133.0W	FSS	C	
SatCom C3 (USA)	131.0W	FSS	C	
DSCS 3A1 (USA)	129.9W	FSS-Milcom EPAC	P/S/X	
Galaxy 5 (USA)	125.0W	FSS	C	
Galaxy 9 (USA)	123.0W	FSS	C	
SBS 5 (USA)	123.0W	FSS	Ku	
USA 99/Milstar 1 /USA)	120.0W	FSS-Milcom	P/S/K	
Telestar 303/3D	120.0W	FSS	C	
Echostar 1 (USA)	119.0W	BSS	Ku	
Echostar 2 (USA)	119.0W	BSS	Ku	
Tempo 2 (USA)	119.0W	BSS	Ku	
Morelos 2 (Mexico)	116.8W	FSS	C/Ku	
Solidaridad 2 (Mexico)	113.0W	FSS/MSS	L/C/Ku	
Anik E1 (Canada)	111.1W	FSS	C/Ku	
Solidaridad 1 (Mexico)	109.2W	FSS/MSS	L/C/Ku	
Anik E2 (Canada)	107.3W	FSS	C/Ku	
MSAT/ M1 (Canada)	106.4W	MSS	L/X	
Gstar 1 (USA)	105.0W	FSS	Ku	
Gstar 4 (USA)	105.0W	FSS	Ku	
Gstar 3 (USA)	105.0W	FSS/MSS	L/Ku	
USA 114/UFO 6 (USA)	104.5W	FSS-Milcom	P/S/K	

GE 1 (USA)	103.0W	FSS	C/Ku	
USA 107/DSP F17 (USA)	103.2W	FSS/EW AOR-W	S/X	
DBS 1 (USA)	101.0W	BSS	Ku	
DBS 2 (USA)	101.0W	BSS	Ku	
DBS 3 (USA)	101.0W	BSS	Ku	
Spacenet 4 (USA)	101.0W	FSS	C/Ku	
AMSC 1 (USA)	100.9W	MSS	L/X	
ACTS (USA)	99.9 W	Experiment	S/C/K	
USA 20/FltSatCom F7 (USA)	99.0W	FSS-Milcom	P/S/X/K	
Galaxy 6 (USA)	99.0W	FSS	C	
Telstar 5 (USA)	97.0W	FSS	C/Ku	
LES 8 (USA)	95.4W	Experiment- Milcom	P/Ka	
Galaxy 8 i (USA)	95.0W	BSS	Ku	
Galaxy 3R (USA)	95.0W	FSS	C/Ku	
SBTS A2 (Brasilien)	92.0W	FSS	C	
Galaxy 7 (USA)	91.0W	FSS	C/Ku	
Telstar 402R (USA)	89.0W	FSS	C/Ku	
GE 3 (USA)	87.0W	FSS	C/Ku	
GE 2 (USA)	85.0W	FSS	C/Ku	
Brasilsat B3 (Brasilien)	84.0W	FSS	C/X	
Spacenet 3R (USA)	83.0W	FSS	L/C/Ku	
Satcom K2 (USA)	81.0W	FSS	Ku	
SBTS 1 (Brasilien)	79.0W	FSS	C	
SBS 4 (USA)	77.0W	FSS	Ku	
Comstar D4 (USA)	75.8W	FSS	C	
SBS 6 (USA)	74.0W	FSS	Ku	
Nahuel 1A (Argentina)	71.8W	FSS	Ku	
Brazilsat B1 (Brasilien)	70.0W	FSS	C/X	
Brazilsat B2 (Brasilien)	65.0W	FSS	C/X	
Echostar 3 (USA)	61.5W	BSS	C/Ku	
PanAmSat 5/PAS 5 (USA)	58.0W	BSS	C/Ku	
Intelsat 512 (ITSO)	55.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
Inmarsat 2F2 (INMA)	54.8W	Intl MSS AOR-W	L/C	
Inmarsat 3F4 (INMA)	54.5W	Intl MSS AOR-W	L/C	
Intelsat 706(ITSO)	53.0W	Intl FSS AOR	C/Ku	
USA 113/DSCS 3B4 (USA)	52.5W	FSS-Milcom	P/S/X	
Intelsat 709 (ITSO)	50.0W	Intl FSS AOR	C/Ku	
TDRS 1 (USA)	49.4W	FSS-GOV	S/C/Ku	
TDRS F6 (USA)	47.0W	FSS-GOV	S/C/Ku	
PanAmSat 1/PAS 1 (USA)	45.0W	FSS-AOR	C/Ku	
PanAmSat 3R/PAS 3R (USA)	43.0W	BSS	Ku	
PanAmSat 6/PAS 6 (USA)	43.0W	FSS-AOR	C/Ku	
USA 11/DSCS 3B7 (USA)	42.5W	FSS-Milcom	P/S/X	

TDRS F4 (USA)	41.0W	FSS-GOV	S/C/Ku	
Intelsat 502 (ITSO)	40.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
Intelsat 806 (ITSO)	40.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
Orion 1 (USA)	37.5W	Intl FSS	Ku	
Columbia 515 (ITSO)	37.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
Intelsat 601 (ITSO)	34.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
Skynet 4A (UK)	34.0W	FSS-Milcom	P/S/X/Ka	
Hispasat 1A (Spanien)	30.0W	BSS/FSS	S/Ku	
Hispasat 1B (Spanien)	30.0W	BSS/FSS	S/Ku	
Intelsat 506 (ITSO)	29.7W	Intl FSS AOR	L/C/Ku	
Intelsat 801 (ITSO)	28.0W	Intl FSS IOR	C/Ku	
Intelsat 605 (ITSO)	27.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
Marecs B2	26.1W	MSS/AOR	L	
Intelsat 603 (ITSO)	24.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
USA 127/UFO 7 (USA)	23.7W	FSS-Milcom	P/S/K	
USA 46/ FltSatCom F8 (USA)	22.8W	FSS-Milcom AOR	P/S/X/K	
Intelsat K (ITSO)	21.5W	Intl FSS AOR	Ku	
Intelsat 803 (ITSO)	21.5W	Intl FSS AOR	C/Ku	
NATO 3D (NATO)	18.3W	FSS-Milcom	P/S/X	
Intelsat 705 (ITSO)	18.0W	Intl FSS AOR	C/Ku	
NATO 4A (NATO)	17.7W	FSS-Milcom	P/S/X	
Inmarsat 2F4 (INMA)	16.9W	Intl MSS AOR-E	L/C	
Luch 1 (Ryssland)	16.0W	FSS-Gov	Ku	
Inmarsat 3F2 (INMA)	15.4W	Intl MSS AOR-E	L/C	
USA 104/UFO 3 (USA)	14.4W	FSS-Milcom	P/S	
Express 1 (Ryssland)	14.0W	Intl FSS	C/Ku	
Cosmos 2291 (Ryssland)	13.4W	FSS-Datalänk	C	
USA 82/DSCS 3B12 (USA)	12.0W	FSS-Milcom	P/S/X	
Gorizont 26 (Ryssland)	11.0W	FSS	C/Ku	
USA 98/NATO 4B (NATO)	10.0W	FSS-Milcom	P/S/X	
USA 75/DSP F16 (USA)	8.9W	FSS-Mil EW	S/X	
Telecom 2A (Frankrike)	8.0W	FSS Gov-Mil	S/C/X/Ku	
Telecom 2B (Frankrike)	5.0W	FSS Gov-Mil	S/C/X/Ku	
Telecom 2D (Frankrike)	5.0W	FSS Gov-Mil	S/C/X/Ku	
Amos 1 (Israel)	4.0W	FSS	Ku	
Skynet 4C (UK)	1.1W	FSS-Milcom	P/S/C/X/Ka	
Intelsat 707 (ITSO)	1.0W	Intl FSS	C/Ku	
Thor 1/Marcopolo 2/ BSB R 2	1.0W	BSS	Ku	
Thor 2A (Italien)	1.0W	BSS	Ku	
TV Sat 2 (Tyskland)	1.0W	BSS	Ku	

Förkortningar använda i tabellen:

AOR	Atlantic Ocean Region
APR	Asia/Pacific Ocean Region
BSS	Broadcast Satellite Service
FSS	Fixed Satellite Service
Gov	Governmental
Intl	International
IOR	Indian Ocean Region
MSS	Mobile Satellite Service
Mil	Military
POR	Pacific Ocean Region

Ickestationära banor

Tabell 6:1. Satellitsystem i Ickestationära banor

Telefoni ("Big-LEO")		
Iridium		http://www.iridium.com/
Globalstar		http://www.globalstar.com/
Ecco		
Ellipso Boreales		
Ellipso Concordia		
Telefoni (MEO)		
ICO		http://www.ico.com/
Meddelande (Little LEO)		
Orbcomm		
Gonets D		
Vitasat		
FAIsat		
SAFIR		
Temisat		
Courier		
E-sat		
Gonets R		
IRIS		
LEO-one		
Bredband		
Skybridge	Ku-band, kräver 80 cm parabol	http://www.skybridgesatellite.com/
Teledesic		http://www.teledesic.com/

Militära satelliter

Tabell 7:1. Satellitssystem – militära och civil/militära

Skynet	Brittiskt	Systemet består av 3 satelliter i Geostationär bana	
Télécom/ Syracuse	Franskt	Systemet består av 2 satelliter Utnyttjar CDMA som störskydd	
Hispasat	Spanskt		
DSCS III	Amerikanskt	Adaptiva antensystem, styrbara antennlober, Användning av EHF-bandet Multilobkapacitet	
FLTSATCOM	Amerikanskt	Switchboard in the sky	
Milstar	Amerikanskt	Direktkommunikation mellan satelliter. Signalbehandling ombord. Antenner med störundertryckning. Bandbredden utnyttjas till störskydd. Bandspridning genom fq-hopp	50-60 GHz
UFO	Amerikanskt		
Sicral	Italien		
NATO-IV	NATO	Systemet består av 2 satelliter av brittisk Skynet-IV typ	
Raduga	Ryssland		

Exempel på satellitkommunikationssystem

1	Inledning.....	3
2	Geostationära system.....	3
2.1	Intelsat	3
2.1.1	Internetadress.....	3
2.1.2	Allmänt	3
2.1.3	System och tjänster.....	4
2.2	Eutelsat.....	4
2.2.1	Internetadress.....	4
2.2.2	Allmänt	4
2.2.3	System och tjänster.....	4
2.2.4	Kommunikationstjänster.....	5
2.3	Sirius.....	6
2.3.1	Internetadress.....	6
2.3.2	Allmänt	6
2.3.3	System.....	6
3	GEO-stationära satelliter för persontelefoni.....	6
3.1	INMARSAT.....	6
3.2	INMARSAT A.....	7
3.3	INMARSAT-B.....	8
3.4	INMARSAT-C.....	9
3.5	INMARSAT-M.....	10
3.6	Jämförelse av INMARSAT.....	12
4	Big-LEO-systems.....	12
4.1	Globalstar.....	12
4.1.1	Internetadress.....	12
4.1.2	Allmänt	13
4.1.3	Satelliter och banor.....	13
4.1.4	Systemet.....	13
4.1.5	Autonomitet.....	13
4.1.6	Kostnader.....	14
4.1.7	Övrigt.....	14
4.2	Iridium.....	14
4.2.1	Internetadress:.....	14
4.2.2	Satelliter och banor.....	14
4.2.3	Systemet.....	14
4.2.4	Autonomitet.....	15
4.2.5	Kostnader.....	15
4.2.6	Övrigt.....	16
5	Internet in the sky.....	16
5.1	Skybridge.....	16
5.1.1	Internetadress.....	16
5.1.2	Allmänt	16
5.1.3	Satelliter och banor.....	16
5.1.4	Frekvenser och överföringskapacitet.....	16
5.1.5	Autonomitet.....	17

5.2	Teledesic.....	17
5.2.1	Internetadress.....	17
5.2.2	Allmänt	17
5.2.3	Satelliter och banor.....	18
5.2.4	Frekvenser och överföringskapacitet.....	18
6	Little LEO.....	19
6.1	Orbcomm.....	19
6.1.1	Internetadress.....	19
6.1.2	Allmänt	19
6.1.3	Antenner och system.....	19
6.1.4	Meddelande/Tjänster	20
6.1.5	Tillverkare av mottagare och programvara	21
6.1.6	Systemdrift.....	21
7	ICO.....	22
7.1	ICO.....	22
7.1.1	Internetadress.....	22
7.1.2	Allmänt	22
7.1.3	Satelliter och banor.....	22
7.1.4	Frekvenser och överföringskapacitet.....	22
7.1.5	Övrigt.....	22
8	Systemjämförelse	23

1 Inledning

Denna bilaga syftar till att ge läsaren en lite djupare bild av några av de system och operatörer som är intressanta ur svenskt och europeiskt perspektiv. Detta gör att presentationen i huvudsak omfattar system vars satelliter har hela eller delar av sina fotpunkter i Europa samt system med global täckning. Där provverksamhet eller drift av systemen genomförts redovisas vunna erfarenheter.

2 Geostationära system

2.1 Intelsat

2.1.1 Internetadress

<http://www.intelsat.com/>

2.1.2 Allmänt

Intelsat är det äldsta och världens största internationella satellitbolag, etablerat 1964 av 11 signatärmakter med ett nät bestående av 3 jordstationer och en satellit med två transpondrar, har det utvecklats till ett jordomspännande satellitnät bestående av 1500 jordstationer (räknat per antenn), 15 satelliter i operativ drift med ca 1000 transpondrar (räknat i 36 MHz-transponderekvivalenter), stöttat av mer än 130 medlemsnationer. Ett trettiotal länder hyr för intern teletrafik hela eller delar av transpondrar. Sverige är genom Telia delägare i organisationen.

2.1.3 System och tjänster

Intelsat opererar på 12/14 GHz.

Följande överföringstjänster utförs:

- Internationell trunktrafik i FDMA- eller TDMA-system. Intelsat var först i världen med introduktion av TDMA.
- TV-programdistribution
- Intelsat Business Service, IBS. Genom lokala operatörer förmedlas vior upp till 8 Mbit/s. Antenner av storleken 3,5 m kan användas för IBS. Denna tjänst används i företagsnät nationellt och internationellt.
- Internät för användning med VSAT, antennstorlek 0,6-2,5 m. Bandbredd uthyres i steg om 100 kHz.
- Uthyrning av transponderkapacitet till nationella teleoperatörer för teletjänster inom landet. Uthyrning sker i steg om $\frac{1}{4}$ transponderbandbredd (transponderekvivalent).

2.2 *Eutelsat*

2.2.1 Internetadress

<http://www.eutelsat.com/>

2.2.2 Allmänt

EUTELSAT är en satellitorganisation som grundades 1977 av 17 västeuropeiska nationer. I Europa är nu 34 länder delägare i EUTELSAT som har sitt högkvarter i Paris. Dessa länder representeras i allmänhet av sina teleadministratörer. Svenska intressen företräds av Telia.

2.2.3 System och tjänster

Systemet består av 8 satelliter i GEO och ett stort antal jordstationer. Täckningsområdet omfattar hela Europa från Island och Kanarieöarna i väster till Ural i öster. Dessutom

Nordafrika och mellanöstern. Detta täckningsområde benämns Widebeam. Utgångseffekten för denna stråle är 42-44 dBW, ca 1/10-del av TELE-X. Därutöver finns en Superbeam som täcker endast Västeuropa (upp till Kiruna) samt de Baltiska staterna, Polen, Tjeckien och Ungern med utgångseffekt 46 dBW motsvarande 1/5-del av TELE-X.

Systemet arbetar på Ku-bandet.

Satelliten Eutelsat W2 som är placerad på 16 grader öst i den geostationära banan är speciellt lämplig för bruk i Sverige. Den har relativt tex. Sirius en högre inklinanion.

Systemet transmitterar samtliga former för teletrafik: internationella trunkförbindelser, affärskommunikation, mobilkommunikation, TV-distribution, TV-direkt och rundradio. Inkomsterna kommer i första hand från TV och rundradio med ca 70%. Därefter följer trunktelefoni med 20 %, samt affärskommunikation och landmobilkommunikation med resterande 10 %.

2.2.4 Kommunikationstjänster

Internationell trunktelefoni: TDMA 120 Mbit/s

Affärskommunikation, Satellite Multiservice Systems (SMS)

- TDMA, 25 Mbit/s
- SCPC, olika bithastigheter kan användas, från 64 kbit/s till 2 Mbit/s
- SCPC för uthyrning i "Closed User Groups"

Mobilkommunikation

- Systemet drivs i samarbete med Alcatel och Qualcomm. Det motsvarar INMARSAT-C systemet och erbjuder 600 bit/s meddelandetjänst till långtradare och liknande.

2.3 *Sirius*

2.3.1 Internetadress

http://www.rymdblaset.com/frame_ssc_facts.htm

2.3.2 Allmänt

Sirius 2 –satelliten sköts upp i nov. 1997 och kontrolleras från ESRANGE i Kiruna.

2.3.3 System

Satelliterna sänder med hög effekt i 12-14 GHz-bandet.

De dimensionerande parametrarna för Satkom-terminalerna är uteffekten, som uttryckt i EIRP är 50 dBW från var och en av Sirius 2-satellitens 6 data/video transpondrar i frekvensområdet 12,50-12,75 GHz med linjär polarisation. Transponderbandbredden är 36 MHz.

Planerna finns att under 2002 sända upp en komplimenterande satellit SIRIUS 4. Även denna kommer att placeras på 5 grader öst i geostationär bana.

3 **GEO-stationära satelliter för persontelefoni**

3.1 *INMARSAT*

Systemet bygger på fyra geostationära ekvatoriella satellitlokaliseringar, en över vardera västra Atlanten (AOR-W), östar Atlanten (AOR-E), Indiska oceanen (IOR) och Stilla havet (POR). Vid sidan av de reguljära Inmarsatsatelliterna finns en ny typ som använder spot-beam-antennor. Dessa behövs för INMARSAT Mini-m och för M4 ("Global Area Network"). På Sveriges fastland och i de svenska farvattnen har man normalt tillgång till både AOR-E och IOR.

Markdelen omfattar ett globalt nätverk av Coast Earth Stations (CES), Network Coordination Stations (NCS) och ett Network Operations Center (NOC) som utgör en länk mellan satelliter och de nationella eller internationella telekommunikationsnäten. De stora antenner som finns vid CES gör det möjligt att effektivt hantera mycket hög trafikintensitet. CES-operatörerna är vanligen stora telekommunikationsorganisationer, som i sin tur kan tillhandahålla ett stort serviceutbud för terminalanvändarna. Varje Inmarsatsystem har ett eget nätverk av CES. Inom varje satellitregion finns också en NCS, som övervakar och kontrollerar trafiken inom området. Varje NCS kommunicerar direkt med de andra NCS samt med NOC, som finns i INMARSATs högkvarter i London. Denna struktur gör det möjligt att sömlöst sköta informationsflödet. INMARSAT ger en i det närmaste total global täckning, med undtag för vissa områden närmast polerna. Det finns redan nio olika Inmarsatsystem (A, B, C, D,D+, E, M, mini-M och M4) för land och sjöbruk.

Militär användning av är godkänd för alla fredsbevarande och andra operationer som sanktionerats av FN. För andra konflikt- eller krigssituationer gäller vissa begränsningar, men för nödsituationer kan INMARSAT alltid användas enligt med Röda kors- och Genèvekonventionerna.

3.2 INMARSAT A

Systemet togs i drift 1982 och kan erbjuda duplex med talkvalitet motsvarande markbaserade trunkförbindelser, fax-, telex och datakommunikation upp till 9,6 kbit/s. Senaste terminal-A versionen är transportabel i en väska med dimensionen 70x60x30 cm, men väger 70 kg. Just av detta skäl sitter därför mer än 2/3 av 25000 terminaler i bruk på stora oceangående fartyg.

INMARSAT-A innehåller fyra olika typer av trafik, request (begäran om uppkoppling), assignment (tilldelning av kanal), telex och taltrafik. Uppkopplingsförfarandet och kanaltilldelning är relativt komplicerade och innehåller fasta sändningsschema. Utförligare information om systemet finns i bilaga.

Tabell 8:1. Systemprestanda INMARSAT-A

Frekvens	1636.5-1645.0 MHz	SES-CES		SES: Ship Earth Station			
	1535.0-1543.5 MHz	CES-SES		CES: Coast Earth Station			
Polarisation	Högerriktad -cirkulär						
Antennförstärkning	Nominellt 24 dBi	Diameter 1 m					
EIRP	36 dBW	HPA -40W					
G/T	>-4dBK	LNA brsustemperatur 100 K					
		Access	Tjänst	Länk	INformationshastighet	Kanalhastighet	Modulation
Kanaltyper	Request	SCPC/FDMA	Channel request	SES-CES	4.8 kbit/s	4.8 kbit/s	BPSK
	Assignment	TDM	Channel assignment	CES-SES	1.2 kbit/s	1.2 kbit/s	BPSK
	Telex	TDM	Telex	CES-SES	50 baud	1.2 kbit/s	BPSK
		TDMA		SES-CES	50 baud	4.8 kbit/s	BPSK
	Taltrafik	FDM/FDMA	Tal	SES-CES/CES-SES	analog	analog	SCPC/FM
Miljökrav	Temperatur	ADE BDE	-35°-+50° 0°-45°				
	Fartygsrörelse	Roll: Pitch: Yaw: Girhastighet	+30° +10° +8° 6°/sec	cykel 8 s cykel 6 s cykel 50 s	Surge: Sway: Heave: Speed	+0.2G +0.2G +0.5G 30 knop	

3.3 INMARSAT-B

Systemet togs i bruk 1992 och är en utveckling av INMARSAT-A med digital modulation.

Systemet introducerades 1993 för att tillhandahålla högkvalitativ, frekvens- och effektsnål kommunikation med digital teknik. Förutom att man använder digital teknik i modulation och röstkodning är systemprestanda i övrigt likvärdiga INMARSAT-A.

INMARSAT-B har fyra olika trafiktyper, request, assignment, telex/låghastighetsdata och tal/höghastighetsdata. Precis som i INMARSAT-A sköts trafiken sekventiellt enligt ett

förutbestämt mönster med fasta tidsluckor för varje moment. Systemet beskriv mer utförligt i bilaga x.

Tabell 8:2. Systemprestanda INMARSAT-B

Frekvens	1626.5-1654.5 MHz	SES-CES		SES: Ship Earth Station			
	1525.0-1545.0 MHz	CES-SES		CES: Coast Earth Station			
Polarisation	Högerriktad -cirkulär						
Antennförstärkning	Nominellt 24 dBi	Diameter 80 cm					
EIRP	33,29,25 dBW	HPA -30W					
G/T	>-4dBK	LNA brus-temperatur 100 K					
		Access	Tjänst	Länk	Informationshastighet	Kanalhastighet	Modulation - felrättande kodning
Kanaltyp	Request	RA	Channel request	SES-CES		24 kbit/s	O-QPSK
	Assignment	TDM	Channel assignment	CES-SES		6 kbit/s	O-QPSK/faltning/Viterbi (R=1/2, K=7)
		SCPC	Tal	SES=CES	16 Kbit/s	24 kbit/s	O-QPSK /punkt/Viterbi (R=3/4, K=7)
	Tal/data	SCPC	Fax	SES=CES	9.6 kbit/s	24 kbit/s	O-QPSK/faltning/Viterbi (R=1/2, K=7)
		SCPC	Data	SES=CES	9.6 kbit/s	24 kbit/s	O-QPSK/=
		TDM/TDMA	Data	SES=CES	300 bit/s	6/24 kbit/s	BPSK/=
		TDM	Telex	SES=CES	50 baud	6 kbit/s	BPSK/=
		TDMA	Telex	SES=CES	50 baud	24 kbit/s	O-QPSK/=
Miljökrav	Temperatur	ADE BDE	-35°-+50° 0°-45°				
	Fartygsrörelse	Roll: Pitch: Yaw: Girhastighet	+30° +10° +8° 6°/sec	cykel 8 s cykel 6 s cykel 50 s	Surge: Sway: Heave: Speed	+0.2G +0.2G +0.5G 30 knop	

3.4 INMARSAT-C

Systemet kom 1990. Det innebar möjlighet till utökad datakommunikation, meddelandeöverföring och meddelandetjänst (dispatch service). Kapaciteten är 600 bit/s från

informationskällan (1200 bit/s i transmissionskanalen). Transmissionssystem: Slotted ALOHA i TDMA-format. Den mobila utrustningen består av en antenn på 30x20 cm som väger 2 kg och en elektronikdel på 30x20x8 cm som väger 3,5 kg.

Här har man idag tagit fram små antenner som gör systemet mycket flexibelt. Vad gäller ubåtstillämpning finns ett företag i Tyskland, Aeromaritime SystemBau i München som gör ubåtsanpassade och integrerade antenner.

Tabell 8:3. Systemprestanda INMARSAT-C

Frekvens	1626.5-1646.5 MHz	MES-LES		MES: Mobile Earth Station			
	1530.0-1545.0 MHz	LES-MES		LES: Land Earth Station			
Polarisation	Högerriktad -cirkulär						
Antennförstärkning	Nominellt 0 dBi	Omni-antenn					
EIRP	16 dBW	HPA -20W					
G/T	>-23dBK	LNA brus-temperatur 100 K					
Trafiktyp:	Modulation:	Access:	Tjänst:	Länk:	Informationshastighet	Kanalhastighet	Felrättande kodning
LES TDM		TDM	Signal	LES-MES			
MES Message	BPKD	Slotted ALOHA	Meddelande	LES=MES	600 bit/s	1200 bit/s	Faltning/Viterbi (R=1/2, K=7)
MES Signaling		Slotted ALOHA	Signal	MES-LES			
Miljökrav	Temperatur	EME IME	-35°-+50° 0°-45°				
	Fartygsrörelse	Roll: Pitch: Yaw: Girhastighet	+30° +15° +8° 12%/sec	cykel 8 s cykel 6 s cykel 50 s	Surge: Sway: Heave: Speed	+0.2G +0.2G +0.5G 30 knop	

3.5 INMARSAT-M

Systemet kom 1992 och erbjuder mobilkommunikation med tal, data och fax.

Terminalutrustningen är bärbar i väska eller monteras i bil med fast antenn. Vikten är under 10 kg. Priset på en terminal är ca 150.000 kr.

Tabell 8:4. Systemprestanda INMARSAT-M

Frekvens	1626.5-1646.5 MHz	SES-CES		SES: Ship Earth Station			
	1525.0-1545.0 MHz	CES-SES		CES: Coast Earth Station			
Polarisation	Högerriktad -cirkulär						
Antennförstärkning	Nominellt 24 dBi	Diameter 40 cm					
EIRP	27,21 dBW	HPA -20W					
G/T	>-10dBK	LNA brus-temperatur 100 K					
	Kanaltyp	Access	Tjänst	Länk	Informationshastighet	Kanalhastighet	Modulation - felrättande kodning
	Request	RA	Channel request	SES-CES		3 kbit/s	BPSK faltning/Viterbi (R=1/2, K=7)
	Assignment	TDM	Channel assignment	CES-SES		6 kbit/s	BPSK faltning/Viterbi (R=1/2, K=7)
		SCPC	Tal	SES=CES	6.4 Kbit/s	8 kbit/s	
	Tal/data	SCPC	Fax	SES=CES	2.4 Kbit/s	8 kbit/s	O-QPSK /punkt/Viterbi (R=3/4, K=7)
		SCPC	Data	SES=CES	2.4 kbit/s	8 kbit/s	O-QPSK /punkt/Viterbi (R=3/4, K=7)
Miljökrav	Temperatur	ADE BDE	-35°-+50° 0°-45°				
	Fartygsrörelse	Roll: Pitch: Yaw: Girhastighet	+30° +15° +8° 12°/sec	cykel 8 s cykel 6 s cykel 50 s	Surge: Sway: Heave: Speed	+0.2G +0.2G +0.5G 30 knop	

3.6 Jämförelse av INMARSAT

Tabell 8:5. Systemjämförelse INMARSAT

System		System-A	System-B	System-C	System-Aero	System-M
Användning		Stora fartyg	Stora fartyg	Mycket små fartyg,fordon	Flygplan	Små fartyg, fordon, mobiltn
Togs i bruk		1982	1993	1991	1990	1993
Tjänster		Tal/Telex	Tal/telex/data	Meddelande/data	Tal/data	Tal/data
	G/T	-4 dBK	-4 dBK	-23 dBK	-13 dBK/ -26 dBK	-10 dBK (sjö) -12dBK(land)
	EIRP	36 dBW	33dBW	16 dBW	25.5 dBW/ 13.5 dBW	27 dBW
Mobilstation	Antennförstärkning	20-24 dBi	20-24 dBi	0-3 dBi	0/12 dBi	14 dBi (sjö) 12 dBi (land)
	Antenntyp	Parabol	Parabol	Helical, cross-dipole	Fasstyrd	Disk, plan
	Antennvikt	110 kg	110 kg	0.5 kg	30 kg	40 kg
	Terminalvikt	40 kg	40 kg	5 kg	40 kg	15 kg
	Talkanal	FM	0-QPSK (24 kbit/s)		A-QPSK (21 kbit/s)	0-QPSK (8 kbit/s)
Modulation						
	Data	BPSK Rx/1.2 kbit/s Tx/4.8 kbit/s	0-QPSK (24 kbit/s) BPSK (6 kbit/s)	BPSK Rx/1.2 kbit/s Tx/4.8 kbit/s	A-BPSK (0.6/1.2/2.4 kbit/s)	BPSK (6 kbit/s)
	Röst	Ingen	APC-MLQ (16 kbit/s)	Ingen	Multipulse-LPC (9.6 kbit/s)	IMBE (6.4 kbit/s)
Kodning						
	FEC-kodning	Ingen	SCPC/Puncture d/Viterbi (R=3/4, K=7) TDM/TDMA faltning/Viterbi (R=1/2,K=7)	Interleaved/Faltning/Viterbi (R=1/2,K=7)	Faltning/Viterbi (R=1/2,K=7)	Puntured/Viterbi (R=3/4, K=7)

4 Big-LEO-systems

4.1 Globalstar

4.1.1 Internetadress

<http://www.globalstar.com/>

4.1.2 Allmänt

Globalstars affärsidé bygger på roamingavtal med lokala GSM-operatörer. Detta innebär att man kan ringa via sin GSM-operatör som fakturerar satellitsamtalet.

4.1.3 Satelliter och banor

Systemet består av 48+8 satelliter på 1414 km höjd. Omloppstiden blir därmed 114 min. Globalstar har valt inklinationen 52 grader eftersom det i områden på höga latituder finns få användare. Över 70 graders latitud finns ingen eller endast dålig täckning. Havstäckningen är inte lika god för Globalstar som för Iridium.

4.1.4 Systemet

Globalstars telefoner sänder på 1,610-1,626 GHz och tar emot på 2,483-2,500 GHz. Varje satellit är utrustad med gruppantennor som alstrar 16 lobar. Inom en cell kommer kanaldelning att ske genom användning av CDMA. Kanalbandbredden är 1,23 MHz.

De tjänster man tillhandahåller är taltrafik, personsökning, fax, GPS och datatrafik med 7,2 kbps.

4.1.5 Autonomitet

Till skillnad från Iridium så har Globalstar inga intersatellitlänkar utan all samtal kopplas via markstationer. I ett första skede planeras 25 markstationer. Detta antal kan utökas till 80-100 i framtiden. För att få global täckning fordras mer än 200 stationer.

Till skillnad mot Iridium så är Globalstar beroende av sina markstationer för att vidarebefordra telefonsamtal utanför en enstaka Globalstarsatellits täckningsområde. Globalstar är alltså sårbarare än Iridium, eftersom markstationer är lättare att slå ut än det är att slå ut satelliter.

För en användare på lägre latituder än Sverige kommer vanligtvis mellan två och fyra satelliter att finnas tillgängliga, vilket ökar sannolikheten för att det finns åtminstone en satellit som inte skymms av terrängen. Terminalerna kan kommunicera med upp till tre satelliter samtidigt. Med användning av komplexa mottagare med avancerad signalbehandling , exempelvis s.k. rakemottagare, kan dessa signaler sammanvägas till en enda god signal.

4.1.6 Kostnader

Terminalerna är av mobiltelefonstorlek och kommer kosta mellan \$ 1000-2000. Samtalskostnaden är beräknad till ca \$ 1.

4.1.7 Övrigt

Ett flertal stora telekomföretag står bakom projektet bla Loral Space, Qualcomm, Alcatel, France Telekom.

4.2 *Iridium*

4.2.1 Internetadress:

<http://www.iridium.com/>

4.2.2 Satelliter och banor

Systemet består av 66 satelliter på 780 km höjd. Omloppstiden är ca 100 min. Satelliterna rör sig i praktiskt taget polära banor – 86 grader inklinat. För global täckning krävs 6 banplan med 11 satelliter i varje. Satelliternas livslängd är åtta år.

4.2.3 Systemet

Antennsystemet belyser marken med 48 separata strålar = 48 celler vilka tillsammans bildar ett sammanhängande täckningsområde på 4000 km i diameter. Celldiametern varierar något

från innercell till yttercell. I snitt är celldiameter ca 500 km. Inklinationen på siktlinjen från en markterminal placerad på randen av täckningsområdet till en satellit i systemet blir minst 15 grader. Kommunikationskanalen ligger på frekvenserna 1,616-1,625 GHz.

Den totala systembandbredden på 10,5 MHz uppdelas i 250 kanaler med bandbredd på 31,5 kHz (kanalmodul 42 kHz). I varje kanal transmitteras tidsramar , TDMA-format med 8 tidsluckor/ram, vilket ger 4 sändar- och mottagarkanaler per ram. TDD betyder Time Division Duplex, sändning och mottagning i samma ram. Den nominella kapaciteten, om vi frånser frekvensåtervändning genom täckningsområdets uppdelning i celler blir då $250 \times 4 = 1000$ förbindelser per satellit.

Man tillhandahåller talkanaler, personsökning, fax och dataöverföring med 2,4 kbps.

4.2.4 Autonomitet

Ombordprocessorer ser till att samtal kopplas över från satellit till satellit så att ett telefonsamtal skall kunna fortgå utan avbrott allteftersom satelliterna försvinner ur och kommer in i synfältet sett från telefonen.

Systemet är i princip oberoende av markstationer för sina tjänster. Markstationer finns dock för kontroll ock styrning av satelliterna, men systemet kan troligen (Ekblad, 1999) fortleva utan dessa under flera månader.

4.2.5 Kostnader

Terminalerna som kan utnyttjas är till storleken som en mobiltelefon, väger mindre än 0,5 kg och kostar omkring \$ 1500-2000. Samtalskostanden varierar beroende på var någonstans på jorden man är men ligger mellan \$ 2-3.

Det amerikanska försvaret har visat stort intresse för Iridium och DISN (Defence Information System Network) har slutit ett avtal med Motorola om tämligen omfattande service och leverans av utrustning, inklusive en egen nedlänk. Även om terminalerna i första hand är avsedda för öppen trafik, har ett antal levererats med inbyggda krypteringschips.

4.2.6 Övrigt

Systemet har huvudsakligen utvecklats som ett kommersiellt samarbete mellan Motorola, Lockheed Martin, Raytheon, Sprint mfl.

Sedan systemet under år 2000 gått i konkurs övertogs driften delvis av det amerikanska försvaret.

Anledningen till svårigheterna för Iridium står främst att finna i den avancerade tekniska lösningen med trafikbearbetning i satelliterna.

5 Internet in the sky

5.1 Skybridge

5.1.1 Internetadress

<http://www.skybridgesatellite.com/>

5.1.2 Allmänt

Systemet liknar Teledesic, men utnyttjar enklare teknik. Man sänder på Ku-band och det krävs en 80 cm parabol.

5.1.3 Satelliter och banor

Systemet är byggt kring 80 satelliter i banor på en höjd av 1460 km. Omloppstiden blir då 115 min. Inklinationen är på ca 54 grader eftersom det i områden på högre latituder finns få användare. Tanken är att vid behov kunna skjuta upp satelliter med högre inklination.

5.1.4 Frekvenser och överföringskapacitet

Skybridge utnyttjar 10-17 GHz-bandet. Upplänkens frekvenser är 12,75-14,5 GHz och nedlänkens är 10,7-12,75 GHz. Bandbredden är 1,05 GHz.

Skybridge har valt det relativt välutnyttjade Ku-bandet. Detta innebär risk för interferens med signaler från GEO-satelliter på detta band. Genom ett avancerat hanterande av signalerna från SkyBridge-satelliterna skall interferens dock kunna undvikas.

Datahastigheten på nedlänken kommer att vara 100 Mbit/s, fördelade på 16 kbit/s-kanaler, medan upplänken får en hastighet på 10 Mbit/s. Systemet skall klara över 20 miljoner användare med en total trafikkapacitet på 200 Gbit/s.

5.1.5 Autonomitet

Skybridge kommer vara beroende av sina ca. 200 markstationer som behövs för att få global täckning. Varje markstation handhar kommunikationen mellan terrestra nät och satelliten inom en yta med en radie på 350 km. Markstationerna kommer via en ATM-växel se till att trafiken integreras i terrestra nät.

Ingen signalbehandling kommer ske i satelliten utan all denna sker i markstationerna

5.2 *Teledesic*

5.2.1 Internetadress

<http://www.teledesic.com/>

5.2.2 Allmänt

Grundtanken med Teledesic var att kunna erbjuda "Internet in the sky". Man skulle erbjuda 2 Mbits överföringar över hela jorden för någon cents kostnad. Kostnaden var enorm nästan 100 miljarder kronor. Ursprungligen skulle systemet bestå av 840 satelliter, något man i takt med investerarnas svalnande intresse raskt minskade till 288. Inte ens detta övertygade marknaden och man tvingades gå samman med värsta konkurrenten Celestri.

Vad som blir kvar av det ursprungliga projektet är förmodligen en mycket bantad version som bygger på Celestris 63 satelliter i LEO plus fyra i geostationärt läge. Befintlig teknik och teknikförbättringar medger att man i stort sett kan leverera utlovad prestanda.

Ytterligare samarbetspartners söks dock och bl.a. Iridium och ICO nämns som tänkbara kandidater. Intressenterna bakom systemet är idag Motorola, Boeing och Matra Marconi. Nuvarande tidsplan innebär att systemet tidigast kan vara i drift 2003.

5.2.3 Satelliter och banor

Satelliterna kommer röra sig i en banhöjd på 1375 km och får därmed en omloppstid på 113 min. För att täcka områden på höga latituder är inklinationen 86,4 grader.

5.2.4 Frekvenser och överföringskapacitet

Teledesic skall kommunicera på 25-50 GHz-bandet. Upplänkens frekvenser är 28,6-29,1 GHz och nedlänkens är 18,8-19,3 GHz.

Målsättningen är att systemet skall få samma kapacitet som optiska fibernät. Användaren skall inte märka någon försämring om förbindelsen går via Teledesic, dvs. systemet skall vara sömlöst mellan markbundna nät och satelliten. På 50 –100 ms skall en användare som regel kunna få svar på en ivägskickad fråga. Adaptiv bandbreddstilldelning (DAMA) kommer användas för att effektivt utnyttja systemets hela kapacitet. Bitfelssannolikheten skall bli under 10^{-10} och tillgängligheten minst 99,9 %. De flesta användare kommer att ha tvåvägsuppkopplingar på upp till 64 Mbit/s på nedlänken och 2 Mbit/s på upplänken. Bredbandsterminaler kommer ha 64 Mbit/s på båda länkarna.

Inom en cell kommer kanaltilldelningen att ske genom en kombination av Multi-Frequency Time Division Multiple Access (MF-TDMA) på upplänken och Asynchronous Time Division Multiple Access (ATDMA) på nedlänken. Frekvenserna kan tilldelas dynamiskt och återanvänds många gånger inom varje satellits fotavtryck. Bandbredd kan tilldelas på användarens begäran. Systemet skall på detta sätt klara av miljoner användare samtidigt.

6 Little LEO

6.1 Orbcomm

6.1.1 Internetadress

<http://www.msceurope.com/news.html>

6.1.2 Allmänt

Orbcommsystemet är ett meddelandesystem av typen "Store & Forward" via satellit.

Satelliterna ligger i låga omloppsbanor (775 km) och har omloppstiden 10 timmar.

Satelliterna är små (45 kg) och billiga. Livslängden är kort (4-5 år). Satelliterna skjuts upp ca 10 st. åt gången med hjälp av satelliten Pegasus.

Fullt utbyggt skall systemet bestå av 34 satelliter. Markstationer finns idag bl.a. i Italien. Här ligger satelliterna i en bana med inklinationsvinkeln 45 °. Två tidigare satelliter med markstation i USA har en betydligt högre inklination på 70°. Merparten av satelliterna (24 st.) kommer ha den lägre inklinationen, p.g.a. av dess bättre täckning av USA och Canada, där de största ägarintressena finns. Här uppnås en nästan 100 % ig täckning, medan vi på våra breddgrader får nöja oss med mellan 20-75 %.

6.1.3 Antenner och system

Satelliterna är utrustade med polariserande antenner och signalerna är därför högerpolariserad (RHCP). Varje satellit täcker ett område med ca 4800 km diameter.

Varje meddelande delas upp i paket på 110 bytes och skickas på separata dynamiska kanaler till och från satelliten. Nedlänken har en överföringskapacitet på 4800 Baud och ligger mellan 137-138 MHz. Upplänken har datahastigheten 2400 baud på kanaler mellan 148-150.05 MHz. När en satellit passera över Europa täcks samtliga länder in.

”Store and Forward” tjänsten kallas Inbound Datagram och innebär att vid passage skickas meddelande ner tillmottagaren och meddelande från marken tas emot och lagras i satellitens interna minne.

För att hantera hur meddelande skall skickas kommer man ha fyra olika prioriteringsnivåer. Kostnaden kommer variera beroende på hur angeläget meddelandet är. Kostanden för ett A4 papper kommer dock att understiga brevporto.

6.1.4 Meddelande/Tjänster

Det finns tre typer av meddelande som kan sändas med Orbcomm

Report Positionsrapport som sänds när sändare och mottagare har etablerat kontakt via satelliten.

Globalgram Längre meddelande som lagras i satelliten tills denna passerar mottagaren.

Message Längre meddelande som sänds när kontakt etablerats mellan sändare och mottagare.

Det är också viktigt att notera att REPORT och MESSAGE tjänsterna kräver att även GES i Italien är inom täckningsområdet för satelliten.

Om man mailar till en mottagare som är inom satellitens täckningsområde kommer meddelandet fram direkt. Meddelande från Orbcomm-terminalen sänds under satellitpassagen omedelbart och når mottagaren utan fördröjning. Meddelande som skrivs in när man är utanför satellitens täckningsområde köas upp till satelliten nått fram.

6.1.5 Tillverkare av mottagare och programvara

Det finns idag fem tillverkare av ORBCOMM mottagare/sändare:

- Magellan Systems Corporation
- Stellar Satellite Communications Ltd
- Panasonic Industrial Company
- Torrey Science Corporation
- Scientific Atlanta

Största tillverkaren är Panasonic med en marknadsandel på 90 %. Panasonic tillverkar ingen egen mjukvara utan utnyttjar Orbcomms egen OrbMail+ och Interrogator95.

För att prediktera satelliternas position och passager utnyttjar man programvaran Orbcomm View (OV32.EXE) som kan laddas ner direkt från företagets hemsida. Även uppdatering av Kepler parametrar kan ske direkt via Internet från

<http://www.nlsa.com/keps.html>

eller

<http://celestrak.com/NORAD/elements/index.html>

Systemet varnar själv när parametrarna är för gamla.

6.1.6 Systemdrift

Driften av Orbcomms europeiska GES sköts av The European Company for Mobile Communication Services B.V (MCS Europé). Detta företag ägs av fem företag bl.a. Swedish Space Corporation

MCO Europé ansvarar för abonnemang i Europa. Abonnenten betalar per byte och står för kostnaden för meddelande både till och från sin mottagare. Man kan förvälja 8 st snabbuppringningsadresser till en lägre kostnad (adressbitar mm faktureras ej). Kostnaden

var 1999, 250 kr för abonnemang, 100 kr i månadsavgift och 5 öre per byte i överföringskostnad.

7 ICO

7.1 ICO

7.1.1 Internetadress

<http://www.ico.com/>

7.1.2 Allmänt

ICO hade i början av 2000 ännu inga satelliter uppe, men starten såg ut att ske någon gång under 2001. Intressenterna består av mer än 60 delägare, från 51 länder, de allra flesta telekombolag. Även ICO lider av ekonomiska problem trots den gedigna ägarkonstellationen. Dock har kapitaltillskott från bl.a. Teledesic gjort att systemet lever vidare.

7.1.3 Satelliter och banor

Systemet består av 10+2 satelliter på 10354 km höjd.

7.1.4 Frekvenser och överföringskapacitet

Frekvenserna ligger på S-band.. De tjänster man erbjuder är taltrafik. Personsökning, fax, GPS och dataöverföring med 2,4-9,6 kb/s.

7.1.5 Övrigt

ICO- teerminallerna kommer tack vare sin speciella konstruktion att vara mindre och lättare (ca 300 g) än Iridiums. Samtalskostnaden förväntas ligga på \$ 1-2 / minut.

8 Systemjämförelse

Tabell 8.6. Systemjämförelse

System	Inmarsat M	Iridium	ICO	Globalstar
Banbenämning	GEO	LEO	ICO	LEO
Igångsättning	1992	1998	1998	1997
Antal banplan	1	6	3	8
Banhöjd, km	35 859	780	10600	1389
Löptid, en riktning, ms	270	10-100	68-104	30
Antal satelliter	3	66	12	48
Satellitvikt	1900	Ca 700	1135	222
Livslängd	12-15 år	5	10	8
Terminal upplänk, MHz	1626,5-1660,5	1616-1626,5	1610-1626,5	1610-1626,5
Terminal nerlänk, MHz	1525-1559	1616-1626,5	2483,5-2500	2483,5-2500
Basstation upplänk GHz	C-band, 6	Ka-band, 30	Ka-band, 30	6,525-6,5415
Basstation nerlänk, GHz	C-band, 4	Ka-band, 20	Ka-band,20	5,1995-5,216
Antal kanaler/satellit	2000	3835	2300	2800
Talkanal bithastighet	6,4 kbit/s	4,8 kbit/s	4,8 kbit/s	Adaptiv, <4 kbit/s
Multipel accessystem	FDMA/ TDMA	FDMA/ TDMA	CDMA	CDMA
Terminalkostnad ,USD	5000-15000	2000-3000	<1000	1200
Samtalskostnad per min (USD)	5	3	0,6	0,3
Månadsavgift, USD	-	50	24	23
Systemkostnad, MUSD		3300	1300	1700

Den mobila satellitkommunikationens historia

	Marina system	Flygburna system	Landmobila system
1960-talet		1964 De första försöken med mobil satellitkommunikation – Syncom-III utförs av NASA	
1970-talet			1970 MUSAT-programmet startas upp i Canada
		1971 L-bandet allokeras till flygmobil satellitkommunikation (WARC '71)	
		1974 AEROSAT startas av ESA, Canada och FAA	
	1976 Marisat startas i USA		
	1977 Japan igångsätter forskningsprogram för marin och flygburen satkom.		
	1979 INMARSAT projekteras		1979 800 MHz allokeras till landmobil system
1980-talet			1980 Projektering av MSAT påbörjas i Canada
			1981 AUSSAT invigs i Australien
	1982 INMARSAT får global täckning		
	1982 ESA igångsätter forskningsprojektet PROSAT som gäller både marin, flyg och markssystem		
	1984 Japan igångsätter forskningsprojektet ETS-V/EMSS som gäller marin, flyg och markssystem	1984 Racal Decca genomför försök inom AMSS® bandet	
		1985 AvSAT programmet startas i USA	
		1985 Revision av INMARSAT-avtalet för AMSS	
	1987 ETS-V skjuts upp för praktiska experiment	1987 Prov av satkom på passagerarflyg (JAL, Japan)	1987 Även L-bandet allokeras till landmobila system (WARC'87)
		1987 AMSS(R) öppnas för civil satkom (WARC'87)	
			1988 Projektering av AMSC (USA)
			1988 Invigning av TMI (Canada)
	1989 INMARSAT-C igångsätts		1989 Revision av Inmarsat avtalet för landmobiler
1990-talet	1990 Andra generationen INMARSAT driftsätts		
		1991 INMARSAT-Aero starta i Stilla Havet	1991 Projektering av Optus (Australien)
	1992 L & S bandet allokeras till LEO-system		
	1993 ACTS skjuts upp för försök med satkom på Ka-bandet (USA)		1993 Optus öppnas för allmänheten (Australien)
			1995 Uppskjutning av AMSC & MSAT
	1997 COMETS skjuts upp för avancerade försök på Ka-bandet och med mm-vågor (Japan)		
2000-talet			2000 Iridium & Globalstar invigs

Abstract

Mobile Satellite Communication for the Royal Swedish Navy

This essay is a vital part of the methodological education during the Advanced programme at the Swedish National Defence College and a key element in the technical specialization.

Satellites and terrestrial communication networks are complements to each other. Satellites also fulfil military needs that terrestrial networks cannot satisfy, especially in naval operations. There are reasons for studying if satellites easily can be integrated in the naval communication architecture. This essay describes mainly the possibilities and advantages with shipborn satellite communication, but also problems shortcomings and disadvantages are treated. By adding a satellite communication component the navy would get enhanced capabilities for international operations and further interoperability. The flexibility characterising this segment will be a great advantage in a fragmented battlefield. The naval demands of such a system is thoroughly examined and discussed. Technical background and problems connected to a satellite link are described. Strategic, tactical and technical demands are investigated and analysed. Finally future aspect on civilian and military use of satellites as vital communication assets are presented.

Key words: Satellite communication, SWELINK, SWEMILSAT, SWIPSAT