



RADIONAVIGERINGSPLAN FÖR SVERIGE 2006 SYSTEMBESKRIVNING

Vit linje är VTS-område
VTS-område är VTS-område
VTS-område är VTS-område



SJÖFARTSVERKET

RADIONAVIGERINGSPLAN FÖR

SVERIGE 2006

SYSTEMBESKRIVNING

RADIONAVIGERINGSPLAN FÖR SVERIGE 2006

SYSTEMBESKRIVNING

Denna systembeskrivning ingår i den svenska Radionavigeringsplanen. Denna plan publiceras av Sjöfartsverket och sammanställs av en arbetsgrupp inom Radionavigeringsnämnden.

Deltagare i gruppen är:

Tina Kempe	Lantmäteriet
Christer Berner	Rymdstyrelsen
Daniel Andersson	Försvarets Materielverk
Fredrik Eklöf	FOI
Niclas Friberg	Luftfartsverket
Rolf Zetterberg	Sjöfartsverket
Lars Magnusson	Telia Sonera
Johan Malmström	ÅF Industriteknik

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	Systemöversikt	2
1.2	Markbaserade system	5
1.2.1.	Generella system	5
1.2.1.1	Loran-C	5
1.2.1.2	Chayka	8
1.2.2	System för luftfart.....	12
1.2.2.1	NDB (Non Directional Beacon).....	12
1.2.2.2	VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range).....	13
1.2.2.3	DME (Distance Measuring Equipment).....	14
1.2.2.4	ILS (Instrument Landing System).....	15
1.2.2.5	MLS (Microwave Landing System)	17
1.2.2.6	VDF/UDF (Fasta pejlstationer för luftfart).....	18
1.2.2.7	PAR (Precision Approach Radar).....	19
1.2.2.8	TILS (Taktiskt instrumentlandningssystem).....	20
1.2.2.9	Nödpejl	21
1.2.3	System för sjöfart.....	23
1.2.3.1	VDF (Fasta pejlstationer för sjöfart).....	23
1.2.3.2	Raconer	24
1.2.3.3	Nödpejl	25
1.2.4	Övriga system.....	26
1.2.4.1	Mobiltelefonbaserad landnavigering.....	26
1.2.4.2	ATC (Automatic Train Control)	28
1.2.4.3	Kartkorrelation (Map-matching).....	31
1.3	OMBORDBASERADE SYSTEM.....	33
1.3.1	Navigeringsradar.....	33
1.3.2	Dopplernavigeringssystem för flygplan.....	37
1.4	SATELLITBASERADE SYSTEM.....	39
1.4.1	Sårbarhet vid användning av GNSS.....	39
1.4.2.	GPS (Global Positioning System).....	40
Den första satelliten med L2C-kod på L2 och M-kod på L1 och L2 sköts upp 2005-09-26 och den 2006-11-28 finns det 3 stycken block IIR-M satelliter uppe. Först 2012 beräknas M-code vara fullt operativ (FOC), dvs minst 24 satelliter.		47
1.4.2	GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System).....	48
1.4.3	GALILEO	51
1.4.4	COSPAS/SARSAT	55
1.4.5	ARGOS.....	57
1.5	STÖDSYSTEM TILL GNSS.....	60
1.5.1	Lokala system	61
1.5.1.1	GRAS.....	61
1.5.2	Nationella system.....	61
1.5.2.1	SWEPOS®	61
1.5.2.2	DGPS/IALA.....	63
1.5.2.3	LuLIS.....	66
1.5.2.4	EPOS.....	66
1.5.3	Internationella system	67
1.5.3.1	Omnistar DGPS, Seastar, Skyfix Starfix.....	67

1.5.3.2	EUROFIX	68
1.5.3.4	SBAS (Satellite Based Augmentation System - WAAS, EGNOS, MSAS).....	69
1.5.4	Assisted GPS.....	73
1.5.5	Pseudoliter	75
1.6	ÖVRIGA STÖDSYSTEM	78
1.6.1	ECDIS.....	78
1.6.2	Positionering via satcom-system.....	79
1.6.3	Transponder sjöfart (AIS).....	80
1.6.4	Transponder luftfart (ADS).....	82
2	FREKVENSOÖVERSIKT.....	84
2.1	FREKVENSBAND AVSATTA FÖR RADIONAVIGERING I SVERIGE	84
BILAGA 1	ANVÄNDA FÖRKORTNINGAR	87
BILAGA 2	FELBEGREPP/NOGGRANNHET	94
BILAGA 3	INTERNETLÄNKAR	101
BILAGA 4	LITTERATURHÄNVISNING	102

1 INLEDNING

Radionavigeringsplanen för Sverige 2006 (RNP 2006) består av två delar. Den första delen är ett engelskspråkigt dokument som behandlar användarkraven samt myndigheternas policies och planer beträffande radionavigering. Den andra delen utgörs av denna systembeskrivning som är en sammanställning över de system som nu finns tillgängliga eller är planerade för bruk i Sverige eller inom landets närområde.

Vid angivelse av positionsnoggrannhet används i RNP 2006 sannolikhetsmåttet 95 % (2 sigma) enligt vanligt förekommande internationella normer. Inom sjöfarten och luftfarten är avstånds- och räckviddsuppgifter relaterade till nautiska mil. I denna plan används förkortningen ”M” för nautisk mil (1 M = 1 852 m).

Vidare bör noteras att svenska kartor oftast är framställda i rikets system RT 90 (RT 38) baserat på Bessels ellipsoid och Gauss projektion, medan t.ex. satellitnavigeringssystemet GPS arbetar i det globala referenssystemet WGS 84 (World Geodetic System). Transformationssamband mellan de olika systemen erhålls vid behov från Lantmäteriet. Vid relativ GPS-mätning på land används det av Lantmäteriet för svenskt bruk framtagna referenssystemet SWEREF 99, som för praktiskt bruk överensstämmer med WGS 84. I militära landmobila tillämpningar, bl.a. i samband med internationella operationer i Europa används ofta UTM och MILGRID (MGRS) koordinater för positionsangivelser istället för latitud och longitud i WGS 84/SWEREF 99.

Lantmäteriet har påbörjat förberedelser för en övergång från RT 90 till SWEREF 99 med tillhörande kartprojektion SWEREF 99 TM.

Svenska sjökort framställs idag med WGS 84 som referenssystem. Vidare är alla elektroniska sjökort baserade på WGS 84. Även inom luftfarten används WGS 84 som standard.

1.1 Systemöversikt

Översikt i tabellform över i planen berörda radionavigeringssystem inklusive tillhörande hjälpsystem.

MARKBASERADE SYSTEM

Generella system

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
Loran-C	1.2.1.1	Internationellt	Luftfart, sjöfart, land	-2010	Osäker prognos
Chayka	1.2.1.2	Ryssland	Luftfart, sjöfart, land	>2010	Osäker prognos

System för luftfart

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
NDB	1.2.2.1	LFV, FM, kommuner	Luftfart	>2010	
VOR	1.2.2.2	LFV	Luftfart	-2008	
DME	1.2.2.3	LFV, FM, kommuner	Luftfart	>2020	
ILS	1.2.2.4	LFV, FM, kommuner	Luftfart	>2015	
MLS	1.2.2.5	Nationellt	Luftfart	>2010	
Fasta pejlstationer för luftfart	1.2.2.6	LFV, FM	Luftfart	-2010	
PAR	1.2.2.7	FM	Luftfart	-2006	
TILS	1.2.2.8	FM	Luftfart	-2015	
Nödpejl	1.2.2.9	LFV, FM	Luftfart	-2015	

System för sjöfart

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
Fasta pejlstationer för sjöfart (VDF)	1.2.3.1	SjöV	SjöV/ sjöfart	>2010	För pejling av VHF-sändare
Raconer	1.2.3.2	SjöV	Sjöfart	>2020	Undersystem till radar
Nödpejl	1.2.3.3	SjöV	Sjöfart	>2010	

Övriga system

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
Mobiltelefonbaserad landnavigering, lokalisering	1.2.4.1	Nationellt	Land	>2020	Kommunikation/nav
ATC	1.2.4.2	Banverket		>2020	
Kartkorrelation	1.2.4.3		Land	>2020	Map-matching

OMBORDBASERADE SYSTEM

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
Navigeringsradar	1.3.1	resp. Plattform	Luftfart, sjöfart, land	>2020	
Dopplernavigerings-system för flygplan	1.3.2	FM	Luftfart	>2010	

SATELLITBASERADE SYSTEM

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
GPS	1.4.2	USA (DoD/DoT)	Luftfart, sjöfart, land	>2020	Successiv utveckling
GLONASS	1.4.3	Ryssland	Luftfart, sjöfart, land	>2020	För närvarande ej full konstellation. Full konstellation förväntas 2010-11. Osäker tidplan.
GALILEO	1.4.3	EU	Luftfart, sjöfart, land	2010->	Under utveckling
COSPAS/SARSAT	1.4.4	Internationellt	Räddning	>2020	
ARGOS	1.4.5	Internationellt	Sjöfart, land, forskning	>2010	

STÖDSYSTEM FÖR GNSS

Lokala system

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
GRAS	1.5.1.1				Under utveckling

Nationella system

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
SWEPOS	1.5.2.1	Lantmäteriet	Luftfart, sjöfart, land, forskning	>2020	
DGPS/IALA	1.5.2.2	SjöV	Sjöfart	>2015	
LuLIS	1.5.2.3	FM			
EPOS	1.5.2.4	Kommersiellt	Sjöfart, land	>2011	

Internationella system

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
Skyfix, Genesis, Deltafix	1.5.3.1	Kommersiellt	Luftfart, sjöfart, land	>2010	
OmniSTAR, SeaSTAR, StarFIX	1.5.3.2	Kommersiellt	Luftfart, sjöfart, land	>2010	
EUROFIX	1.5.3.3	NELS			
SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)	1.5.3.4		Luftfart, sjöfart, land	>2015	Under utveckling

Assisted GPS

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
AGPS	1.5.4				Under utveckling

Pseudoliter

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
Pseudoliter	1.5.5	Nationellt		>2020	Under utveckling

ÖVRIGA STÖDSYSTEM

System	Kapitel	Ansvar	Användare i Sverige	Bedömd livslängd	Kommentar
ECDIS	1.6.1	SjöV / Internationellt samarbete	Sjöfart	>2020	Standard för elektroniska sjökort
Positionering via satcom-system	1.6.2	Internationellt	Luftfart, sjöfart, land	>2020	
Transponder sjöfart (AIS)	1.6.3	SjöV	Sjöfart	>2020	
Transponder luftfart (ADS)	1.6.4	Lfv	Luftfart		

1.2 Markbaserade system

Sammanställning av radionavigeringshjälpmedel som baseras på bruk av på markytan fast eller rörligt placerade sändaranläggningar (s.k. terrestra system).

1.2.1. Generella system

1.2.1.1 Loran-C

Tekniska data

Tekniska data

Signaldata: Faskodad sändning av pulsgrupper med bärfrekvens 100 kHz. Pulslängd 250 μ s. Hyperbelnavigeringssystem med identifiering av kedjorna genom bruk av olika värden på grupp repetitionsfrekvensen, GRI. Denna väljs inom intervallet 10-100 ms. Tidsnoggrannhet bättre än 0.1 μ s. Utsänd effekt av storleksordning 200-1000 kW.

Noggrannhet: Noggrannhet i systemets centrala delar bättre än 0.1 M (180 m) och kan vara bättre än 100 m. Inom det som definieras som systemets täckningsområde är positionsnoggrannheten alltid bättre än 0,25 M (460 m). Repeterbar noggrannhet är vanligtvis mellan 18 och 90 m. Noggrannheten är dock beroende på lanekonfigurationen inom det lokala användningsområdet.

Räckvidd: Typiskt 1000-1500 km över hav. Kortare över land

Tillgänglighet: Bättre än 99.6 % för en 3-stationskedja

Systembeskrivning

Loran-C är ett hyperboliskt system som utvecklades för militär användning av USA under 50-talet. Systemet utnyttjas idag huvudsakligen för civilt bruk och står under civil kontroll. Det finns i dag ett 20-tal Loran-C-kedjor i drift på norra halvklotet. I nordvästra Europa finns 4 kedjor med tillsammans 8 sändare i drift idag (2006) som ger täckning i Nordatlanten, Nordsjön, Engelska kanalen och Biscaya. I Sverige täcks endast västkusten av systemet.

Vidare har täckningen i Medelhavet blivit mycket begränsad eftersom enbart de två italienska sändarna är i drift idag.

I övriga delar av världen täcks hela USA:s inland och omgivande kustfarvatten samt Hawaii-regionen av ca 12 kedjor omfattande ett 30-tal sändare. Genom samverkan mellan den östligaste ryska Chayka-kedjan (se nedan) och Alaska-kedjorna täcks stora delar av de nordliga farvattnen mellan USA och Ryssland i dessa områden inklusive Berings sund. Loran-C-kedjor finns vidare i Kanada, Korea, Japan, Kina, Saudiarabien och Indien.

Lägesbeskrivning/användare

Samtliga Loran-C-stationer är statsägda. De stationer som finns utanför USA drivs av respektive land från 1995. Den norvästeuropeiska kedjan drivs inom ramen för samarbetsorganet NELS (North-west European Loran-C System) bestående av medlemsländerna Danmark, Frankrike, Irland, Nederländerna, Norge och Tyskland. Samarbetsavtalet för NELS löpte ut 31/12 2005. Tillsammans med den i NELS ingående franska kedjan som omfattar två sändare finns täckning från Biscaya till Barents hav. Se figur nr 1. Angiven täckning i denna figur är dock något optimistisk eftersom den från början planerade sändaren på Irland (Loophead) inte byggts. Däremot har en tillfällig station etablerats i Storbritannien för utvärdering av möjliga förbättringar av Loran C tekniken.

I Europa används Loran-C i liten omfattning inom sjö- och luftfarten samt inom fiskeriet. I USA är det speciellt "general aviation" som använder systemet, eftersom det täcker hela den Nordamerikanska kontinenten. Det finns i dag enkla mottagare till ett pris under 5000 kronor. Få svenska fartyg är utrustade med Loran-C-mottagare.

Systemet används även för meteorologiska ändamål för vindprofilmätning med höghöjdsballonger från marknivå till 30 km höjd på samma sätt som Omega/VLF-systemet tidigare använts. Efter det att Omega-systemet avvecklats har Loran-C fått ökad betydelse för dessa meteorologiska vindprofilmätningar.

Sverige följer som observatör inom ramen för verksamheten inom EU utvecklingen av Loran-C i Europa. Inga planer föreligger idag på svenskt deltagande.

Utvecklingstendenser

I USA pågår värdering av det framtida behovet av Loran-C som reserv och "back-up" för GPS, som bedöms vara mycket sårbart för såväl avsiktlig som oavsiktlig störning. Hotet syns öka i takt med att GPS blir en allt mer nödvändig del för en fungerande infrastruktur. Man fortsätter därför tills vidare driften av samtliga Loran-C-kedjor till dess officiellt beslut om systemets framtid har tagits. Systemets stora fördel är att det redan finns och täcker hela USA med omgivande farvatten samt ger inte bara position utan även noggrann tid. Om beslut om nedläggning tas kommer dock nuvarande användare att få minst 6 månaders förvarning före stängning av systemet. I Europa pågår en diskussion om systemets framtid där framförallt Frankrike och Storbritannien önskar se en EU-gemensam finansiering av utbyggnad, modernisering och fortsatt drift av Loran C. Vare sig på tjänstemanna eller politisk nivå har EU ännu tagit ställning i denna fråga. Framtiden för NELS samarbetet är mycket osäker, då samarbetsavtalet löpte ut 2005-12-31.

Den största felkällan i Loran-C orsakas av avvikelserna i vågutbredningshastigheten över land. Dessa avvikelser, som brukar karakteriseras med den s.k. ASF-faktorn (Additional Secondary Phase Factor), är dock relativt stabila. Avvikelserna kan därför mätas upp på förhand, t.ex. med hjälp av GPS/DGPS, och läggas in som korrektionsmodeller i mottagarens minne. Metoden ger normalt en avsevärd förbättring av noggrannheten och baserat på empiriska mätningar kan t.ex. ett fast fel på ca 350 m reduceras till under 25 m. Ännu högre noggrannhet kan erhållas genom att utnyttja ett integrerat Loran-C/GPS-system (se nedan) där de aktuella vågutbredningsfelen kalibreras kontinuerligt.

Med stöd av EU har systemet EUROFIX utvecklats. EUROFIX utgör en datalänk för överföring av differentiella GPS-korrektioner och integritetsinformation som modulation på Loran-C-signalen. Se vidare i avsnitt 1.5.3.3.

Tillgången på moderna mottagare är för närvarande låg, vilket begränsar användning av Loran-C. EU har finansierat viss utveckling av kombinerade GNSS/Loran C mottagare och även i USA pågår utveckling av moderna mottagare för Loran-C.

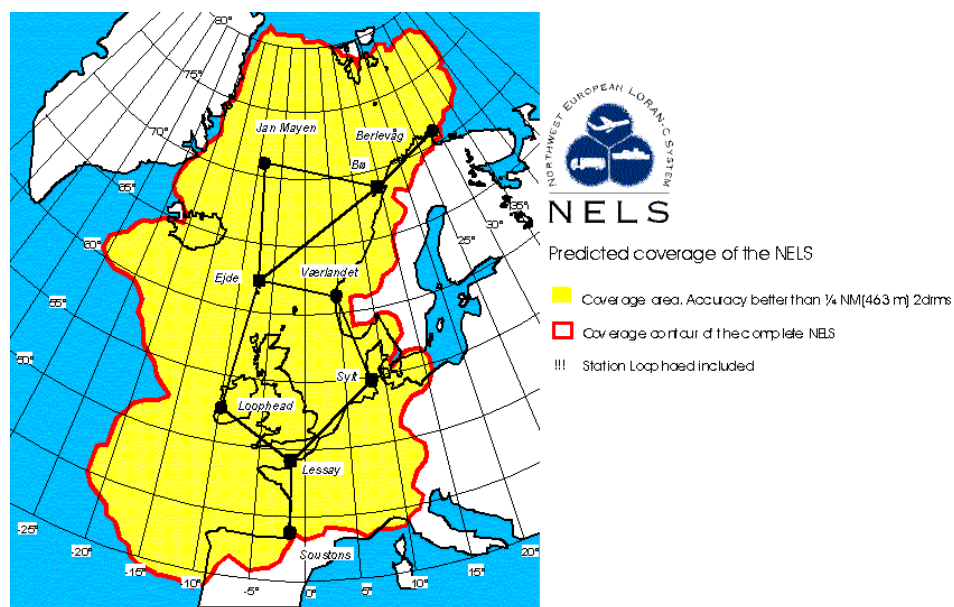
Den framtida användningen av Loran-C kommer sammanfattningsvis att baseras på s.k. "Enhanced Loran" med bruk av Loran-C (typ "chip") integrerat med GNSS/DGNSS där ett noggrant kalibrerat Loran-C med m-noggrannhet kan ersätta satellitnavigering under perioder av bortfall av dessa

system och där mottagaren precis som i dagens GPS mäter avståndet istället för tidsskillnaden till samtliga sändare (s.k. "all-in-view") som kan tas emot.

För att kunna uppfylla detta mål måste Loran-C i samverkan med Chayka täcka hela Europa med omgivande vatten. Genom modernisering av existerande sändare och nybyggnad av ca 4-6 anläggningar torde detta behov kunna realiseras till en uppskattad kostnad av ca 50 miljoner Euro.

I avvaktan på ett eventuellt EU-beslut respektive nationella initiativ får vi tills vidare anse det troligt att Loran-C i kombination med EUROFIX kommer att vara i drift i nuvarande skick i Europa till ca 2010.

Sammanfattningsvis måste framtiden för Loran-C anses som mycket osäker.



Figur nr 1. Täckningsområde för Loran-C i Nordvästeuropa (Loophead har utgått.)

1.2.1.2 Chayka

Den ryska motsvarigheten till Loran-C heter Chayka (Måsen). Systemet är i det närmaste identiskt med det västerländska enligt 1.2.1.1 ovan. Fem ryska kedjor finns och som täcker bl.a. europeiska Ryssland, området norr om Kolahalvön och Novaja Zemlja samt ryska Stilla Havskusten i öster. Varje kedja består av 3-5 stationer. Totalt ingår 12 större sändare i det ryska systemet.

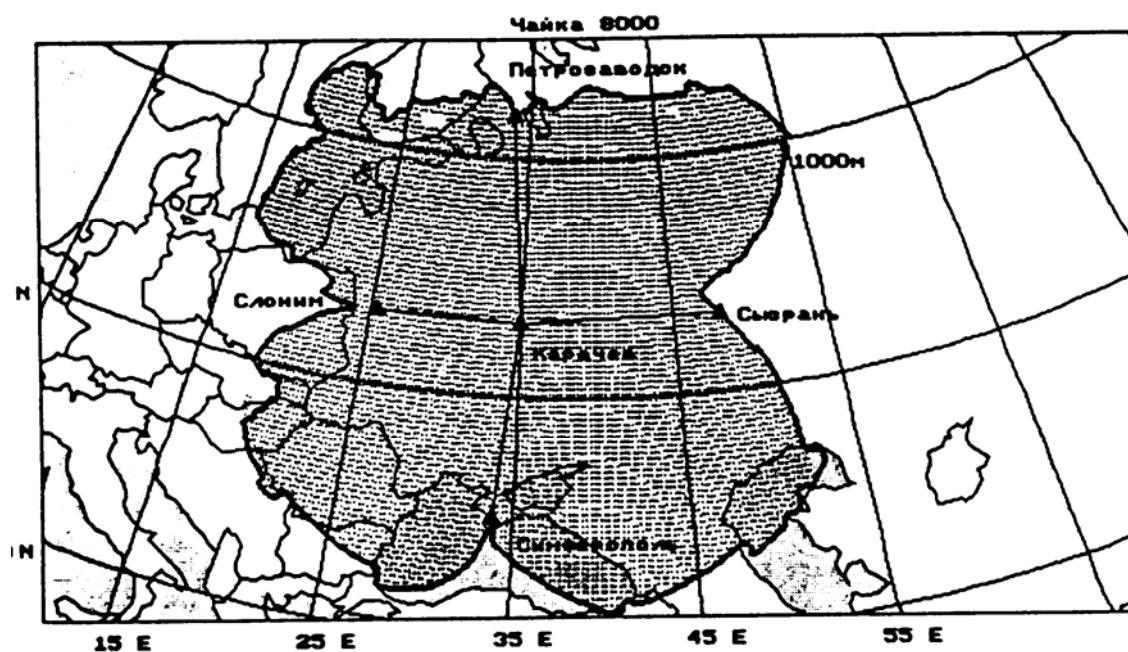
Mest känd i Sverige är den europeiska kedjan med mittstation (Master) vid Karachevo nära Moskva medan slavstationerna är belägna vid Petrozavodsk (norr om Ladoga), Slonim (nära polska gränsen), Simferopol (på Krim) samt Syzran (i Ural norr om Kaspiska havet). Förutom bl.a. europeiska Ryssland täcker kedjan även Östersjön enligt vad som framgår av täckningskartan i figur nr 2.

Internationellt samarbete pågår rörande bruk av Chayka och Loran-C och de ryska systemen är helt öppna för civilt bruk i väst. Moderna Loran-C mottagare kan utnyttja båda systemen parallellt eller i kombination med varandra.

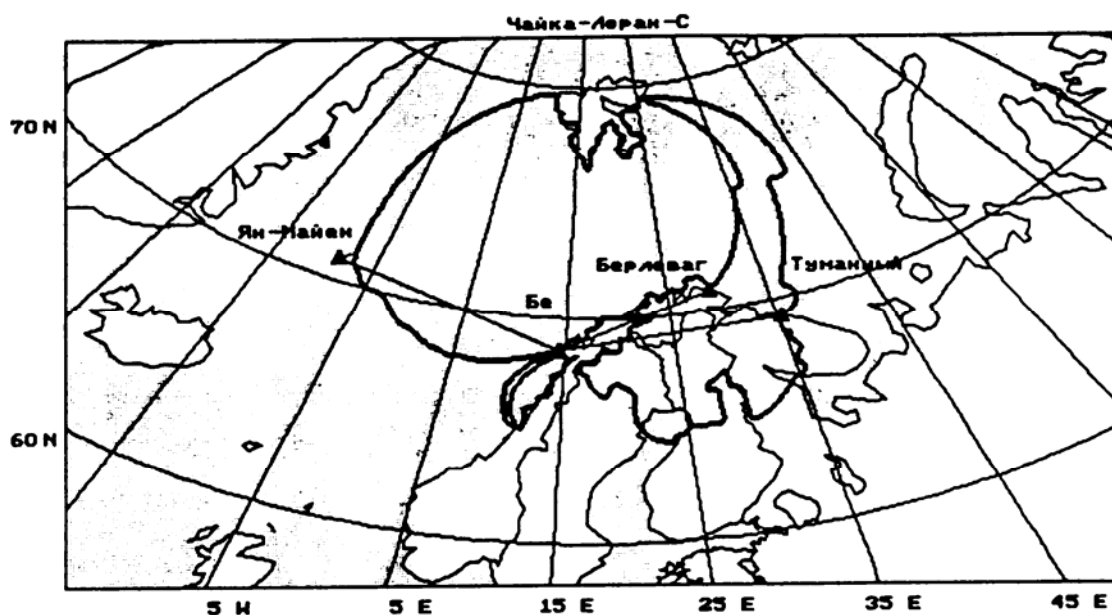
Ett samarbetsavtal har tagits med Norge om gemensamt bruk av ryska nordkedjan och den nordligaste norska kedjan, vilket avsevärt förbättrar täckningen i farvattnen norr och nord-väst om Kolahalvön. Även nordligaste delen av Bottenviken och Lappland kommer att täckas av denna kombinerade kedja. Den planerade täckningen framgår av figur nr 3. Några konkreta resultat har detta avtal har dock ännu inte gett.

Genom att kombinera Chayka med såväl Nordvästeuropeiska- som Medelhavskedjan fås i det närmaste full täckning av Europa med omgivande vatten. Se täckningskartan i figur nr 4. Denna karta är dock inte fullständig eftersom de två nya sändarna i Nordvästeuropa saknas liksom den kombinerade norsk-ryska kedjan i norr. Vidare har den isländska stationen försvunnit, vilket minskar täckningen mellan Island och USA. Dessutom är sedan länge flera sändare vid Medelhavet ur funktion.

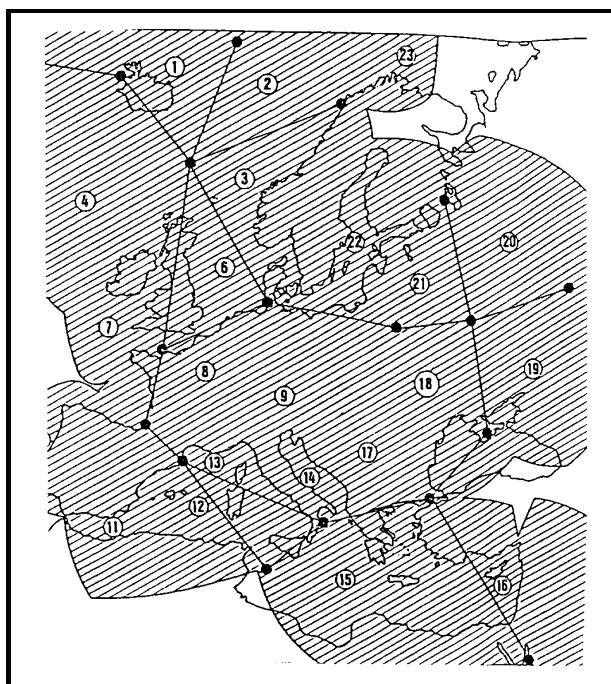
Genom avtal mellan Ryssland, USA, Korea, Japan och Kina om samverkan och gemensamt utnyttjande av befintliga Loran-C-kedjor har man idag kontinuerlig täckning från och med Sydkinesiska Sjön till Alaska och områdena norr och söder om Berings sund.



Figur nr 2. Täckningsområde för den europeiska Chayka kedjan



Figur nr 3. Planerat täckningsområde för den kombinerade norsk-ryska kedjan



Figur nr 4. Exempel på täckning vid kombinerat bruk av Loran-C och Chayka. Nordväst-europeiska Loran-C kedjan är dock numera kompletterad med två nya sändare medan stationen på Island är nedlagd. Dessutom är Medelhavskedjan idag reducerad till endast de två italienska sändarna.

Som del av GLONASS-projektet pågår verksamhet med studium av ett integrerat Chayka/ GLONASS-system i likhet med motsvarande studier i väst. Differentiella korrektioner och integritetsdata avses därvid kunna överföras via Chayka på samma sätt som i EUROFIX-systemet. Eftersom samma tidreferens utnyttjas i såväl Chayka som i GLONASS dvs. UTC (SU) kan båda systemen ersätta eller komplettera varandra som noggranna "back-up" även som tidsreferenser.

Enligt nuvarande planer kommer ryska Chayka - utökad med datalänk typ EUROFIX - att finnas kvar tillsammans med Loran-C som markbaserat komplement till GPS och GLONASS.

Inga tecken tyder på en planerad rysk nedläggning av det befintliga Chayka-systemet.

1.2.2 System för luftfart

1.2.2.1 NDB (Non Directional Beacon)

Tekniska data

Signaldata:	283-526,5 kHz.
Noggrannhet:	± 5 grader.
Räckvidd:	15-200 M (I Sverige högst 50 M).
Tillgänglighet:	Nära 100 %.

Systembeskrivning

NDB (Non Directional Beacon) är det äldsta radionavigeringshjälpmedlet inom luftfarten. Tekniskt består systemet av en radiosändare som sänder en oriktad bärvåg. Signalen moduleras (400 Hz) med stationens identifieringssignal, som består av två eller tre morsetecken. I flygplanet finns en enkel mottagare (antenn), som känner av bäringen till stationen i förhållande till flygplanets längdaxel. Systemet är identiskt med motsvarande för sjöfarten

Lägesbeskrivning/användare

Hjälpmedlet används i huvudsak för navigering som inflygningshjälpmedel samt som landningshjälpmedel. Vissa lämpligt placerade fyrar används även av sjöfarten. I landet finns ca 125 fyrar. NDB är i huvudsak placerade vid flygplatsernas närhet.

NDB används av både civil och militär luftfart. Stationerna ägs av Luftfartsverket, Försvarmakten, kommuner och andra flygplatshållare.

Utvecklingstendenser

NDB används inte längre för sträcknavigering, utan endast för definiering av in- och utflygningsvägar till och från flygplatser, och som ett hjälpmedel för icke-precisionsinflygningar. Beroende på NDB:s förhållandevis låga anläggnings- och driftkostnad kommer de troligtvis att finnas kvar på många flygplatser under lång tid. På sikt kommer NDB troligtvis att avvecklas, detta sker i samband med övergång till P-RNAV.

1.2.2.2 VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range)

Tekniska data

Signaldata:	108-118 MHz.
Noggrannhet:	Markutrustningens noggrannhet ± 3 grader. Total systemnoggrannhet ± 5 grader (95 %), inklusive fel i mottagarutrustning och pilotfel.
Räckvidd:	Ca 100 M på flyghöjd över 3000 m.
Tillgänglighet:	99,6 % (år 1996-98).

Systembeskrivning

Tekniskt består systemet av en markbunden sändare som sänder ut bäringsinformation i alla riktningar från stationen. Två modulerade signaler med en riktningsberoende fasskillnad sänds från markstationen. Mottagaren i flygplanet känner av fasskillnaden i signalen och kan omsätta den informationen till riktningen i magnetiska grader i förhållande till fyren.

Lägesbeskrivning/användare

Hjälpmedlet används i huvudsak för att definiera flygleder, dvs. vid sträcknavigering. Det används även för att definiera inflygnings- och utflygningsvägar till flygplatser. I vissa fall används det även som inflygningshjälpmedel. VOR-stationerna är placerade vid flygplatser eller utmed luftleder.

I landet finns totalt ca 40 VOR-stationer. Alla stationer utom en ägs av Luftfartsverket och används av i huvudsak civil luftfart.

Utvecklingstendenser

VOR används redan nu och kommer i högre grad att användas för s.k. areanavigering, i dagligt bruk förkortat RNAV. Vid areanavigering bearbetar mottagaren i flygplanet information från flera stationer och kan på denna information "lägga ut" fiktiva brytpunkter. Effekten blir att luftledssystemet ej behöver "bindas" till stationernas geografiska punkter.

Användning av VOR för RNAV kommer att försvinna i samband med införande av Precision RNAV, P-RNAV. Detta är planerat att ske tidigast år

2008 och baseras då på DME/DME. Utvecklingen av satellitnavigering kan komma att medföra en tidigare reduktion av användningen av VOR. För närvarande beräknas VOR kunna avvecklas senast 2008.

1.2.2.3 DME (Distance Measuring Equipment)

Tekniska data

Signaldata:	960-1215 MHz.
Noggrannhet:	Markutrustningens fel mindre än ± 200 m. Total systemnoggrannhet (95 %), inklusive feltillskott från den flygburna utrustningen är ± 370 m.
Räckvidd:	Ca 100 M på flyghöjd över 3000 m
Tillgänglighet:	99,7 % (år 1996-98).

Systembeskrivning

DME är ett hjälpmedel som kontinuerligt anger avståndet från flygplanet till markstationen. Tekniskt består systemet av en flygplansburen sändare/mottagare (Interrogator) samt en markbunden station (Transponder). Kortfattat fungerar systemet så att interrogatorn sänder ut en frågepuls som markstationen besvarar. Utgående från tidsskillnaden mellan utsänd och mottagen puls beräknar mottagaren i flygplanet avståndet till markstationen.

Lägesbeskrivning/användare

Hjälpmedlet har tills de senaste åren normalt använts tillsammans med VOR-stationer för att ge avståndsinformation. Hjälpmedlet används även kopplat till instrumentlandningssystemet ILS som avståndssindikator. Hjälpmedlet har nu stor betydelse som areanavigeringshjälpmedel (RNAV).

I landet finns ca 35 DME-stationer. De flesta ägs av Luftfartsverket samt av kommunala flygplatser.

Utvecklingstendenser

DME används redan nu och kommer i framtiden i högre grad att användas för s.k. areanavigering (se VOR). Inför införandet av P-RNAV pågår i Sverige ett program med utbyggnad av antalet DME-stationer för att erhålla en jämn täckning så att minst två, helst tre, DME-stationer kan tas emot samtidigt.

DME kommer också sannolikt att behövas inom överskådlig framtid som markbaserad "back-up" även efter införande av satellitbaserad navigering. Ett förslag är att ytterligare 10-11 nya DME-stationer byggs för att möjliggöra P-RNAV. Detta är planerat att ske 2010-2015.

1.2.2.4 ILS (Instrument Landing System)

Tekniska data

Signaldata:	75 MHz, 108-112 MHz samt 328,6-335,4 MHz.
Noggrannhet:	Beroende av klassning av hjälpmedlet (Kat I, Kat II, Kat III). Typiskt uppgår noggrannheten i senare delen av inflygningen till någon meter
Räckvidd:	Ca 25 M.
Tillgänglighet:	Kategori I MTBO > 1000 tim Kategori II/III MTBO > 2000 tim (LLZ Kat III > 4000 tim)

Systembeskrivning

För precisionsinflygning används ett standardiserat system ILS (Instrument Landing System). Beroende på den tekniska utformningen och banans utformning kan systemet användas för olika kategorier av s.k. landningsminima, vilka har olika krav på horisontal- och vertikalsikt. De mest kvalificerade systemen (Kat III) kan användas ned till i det närmaste nollsikt. Tekniskt består systemet av ett antal delsystem. Kurssändaren, Localizer (LLZ), som är placerad i banans förlängning ger flygplanets kurs mot banan. Glidbanesändaren, Glide Path (GP), är placerad vid sättpunkten och ger flygplanet information om rätt inflygningsvinkel mot horisontalplanet. Kurssändaren sänder ut en bärvåg som är amplitudmodulerad med två toner, 90 och 150 Hz. Om flygplanet befinner sig mitt på landningsbanans förlängda centrumlinje är de två tonernas amplitud precis lika stor, om man ligger till höger eller vänster om centrumlinjen blir den ena eller andra tonen starkare. Glidbanesändaren fungerar enligt samma princip, men i det andra planet, om man befinner sig under korrekt glidbana dominerar 150 Hz, är man över dominerar 90 Hz. Amplitudförhållandet mellan de båda signalerna är inom vissa gränser proportionell mot vinkelavvikelsen. Dessutom finns två stycken markeringsfyrar placerade på bestämda avstånd från sättpunkten. Dessa

markeringsfyrar ger flygplanet information om passage av viktiga punkter under inflygningen.

En svaghet med ILS-systemet är att det är mycket känsligt för störningar på grund av modulationsprincipen. Man använder sig också av marken framför antennsystemen för att skapa antenndiagrammen i luften, och oregelbundenheter i marken orsakar signalstörningar, liksom reflexer från byggnader runt banan. Det ställs alltså stora krav på markberedning vid anläggandet av en ILS, liksom kontinuerlig kontroll av de känsliga områdena under inflygning. I flygplatstäta områden har man också problem med frekvenstilldelningen och måste ibland begränsa anläggningarnas räckvidd. I Sverige har detta dock ännu inte varit något problem.

Lägesbeskrivning/användare

ILS är enligt beslut inom ICAO (International Civil Aviation Organization) fastställt att tillsammans med MLS vara det primära hjälpmedlet för precisionsinflygning för den civila luftfarten fram till år 2015. Det föreligger krav på att alla flygplatser med linjefart skall ha minst en banriktning försedd med utrustning för precisionsinflygning, dvs. ILS. Under de närmaste åren kommer förmodligen krav från Luftfartsinspektionen på att även den andra banriktningen skall utrustas med ILS. I landet finns för närvarande ca 60 ILS-anläggningar i bruk. Anläggningarna ägs och drivs av flygplatshållarna dvs. Luftfartsverket, de kommunala flygplatsbolagen samt i några fall av Försvarsmakten.

Utvecklingstendenser

ILS som system har ej förändrats nämnvärt sedan det ursprungligen togs fram i början av 40-talet. Den utveckling som skett under främst -70 och -80 talen har varit mot större och mer komplexa antennsystem för att den vägen uppnå bättre prestanda. Den utveckling som sker idag är mot ökad datorisering av utrustningarna för att nå en högre säkerhet och tillgänglighet samtidigt med lägre underhållskostnader.

Parallellt med ILS kommer också i framtiden att finnas fler system för precisionsinflygning, i första hand MLS och satellitbaserade system. Se respektive avsnitt för dessa. En utveckling sker också vad gäller den flygburna utrustningen mot mer komplexa mottagare som alternativt kan ta emot fler olika system som ILS, MLS och GPS och presentera på enhetligt sätt ombord, s.k. Multi Mode Receivers.

1.2.2.5 MLS (Microwave Landing System)

Tekniska data

Signaldata:	5031-5090 MHz.
Noggrannhet:	Beroende av avstånd till hjälpmedlet (ned till några meter).
Räckvidd:	20 M.
Tillgänglighet:	Kategori I MTBO > 1000 tim Kategori II/III MTBO > 2000 tim (LLZ Kat III > 4000 tim)

Systembeskrivning

Systemet består i huvudsak av samma systemdelar som ILS, dvs. en kurssändare, "Azimuth", en glidbanesändare, "Elevation" och avståndsmarkering med hjälp av DME.

Tekniskt är systemen helt olika uppbyggda varvid MLS sänder en svepande signal, i både horisontal och vertikal led över en relativt stor sektor. MLS har större flexibilitet och möjliggör landning från Cat I till Cat III. MLS utnyttjar frekvensområdet 5,031 - 5,091 GHz.

Lägesbeskrivning/användare

MLS var ursprungligen planerat att ersätta ILS. Motivet för övergången från ILS till MLS var i huvudsak de frekvensproblem som finns i nuvarande band, höga anläggningskostnader för ILS samt operativa fördelar med MLS. ILS är enligt beslut inom ICAO (International Civil Aviation Organization) fastställt att tillsammans med MLS vara det primära hjälpmedlet för precisionsinflygning för den civila luftfarten fram till år 2015. Utvecklingen och implementeringen av MLS har dock ej skett i den omfattning som tidigare förutsatts och MLS kommer därför ej som planerat att ersätta ILS. MLS kommer dock att finnas på ett mycket begränsat antal platser där man önskar precisionsinflygning av Kategori II eller III och att detta p.g.a. interferensproblem eller andra störningsproblem ej går att arrangera med ILS.

Utvecklingstendenser

MLS kommer fortsättningsvis, tillsammans med GPS, att finnas som ett parallellt/alternativt system till ILS. Det är inte sannolikt att MLS kommer att introduceras i Sverige.

1.2.2.6 VDF/UDF (Fasta pejlstationer för luftfart)

Tekniska data

Signaldata:	Frekvensband 118-137 MHz samt 243 MHz
Noggrannhet:	$\pm 1^\circ$ (LFV:s utrustningar)
Räckvidd:	Upp till 100 M mot flygplan på höjder över 3000 m.
Tillgänglighet:	Luftfartyg kan pejlas när de sänder på talkanaler inom resp band. Nödsändare (ELT) på internationella nödfrekvenserna 121,5 MHz och 243,0 MHz sänder kontinuerligt efter aktivering och kan då pejlas.

Systembeskrivning

VDF/UDF = VHF/UHF Direction Finding.

Pejling är det äldsta radionavigeringshjälpmedlet inom luft- och sjöfart. Det används ännu i mer eller mindre automatiskt utförande ombord på luftfartyg t.ex. för NDB-pejling. Här ska emellertid endast beskrivas de fasta landbaserade pejlstationer som används för trafikledning inom luftfart.

Pejlingen sker i dessa stationer automatiskt med s.k. Dopplerpejl. Funktionen är sådan att en dipol får rotera i en cirkel (radien = r) med en vinkelhastighet ω . Genom att antennens hastighet gentemot sändaren kommer att variera sinusformigt mellan $\pm \omega r$ kan man med hjälp av dopplereffekten på den mottagna signalen avgöra när antennen pekar mot sändaren. Rotationen sker genom elektronisk omkoppling av ett antal fast placerade dipoler. Exempel på storlekar som förekommer är 32 dipoler med cirkeldiametern 6 m och rotationshastigheten 64 varv per sekund.

Lägesbeskrivning/användare

I flygplatsernas kontrolltorn finns behov att kunna leda ankommande luftfartyg med bäringsangivelser, huvudsakligen trafik med begränsad instrumentering som flyger enligt de visuella flygreglerna (VFR). Även separation mellan luftfartyg kan göras med pejling. Pejlinformationen visas vanligen på en kompassros och/eller som digital bäringspresentation.

I områdeskontrollcentralerna kan pejling användas för att identifiera och separera primärradarekon som saknar transponderinformation, t.ex. från flygplan med fel på sekundärradartranspondern. Pejlinformationen presenteras som en vektor på flygledarens radarskärm och pekar på så sätt ut ekot.

Utvecklingstendenser

För närvarande finns fasta pejlstationer för civil luftfart på många av Luftfartsverkets flygplatser, men något krav på pejl finns inte. För militär luftfart finns fasta pejlar på alla flottiljflygplatser samt mobila pejlar för krigsbaserna. På krigsbaserna är pejlinflygning reservalternativ till TILS-inflygning. Nyinstallationer förekommer fortfarande.

1.2.2.7 PAR (Precision Approach Radar)

Tekniska data

Signaldata:	Pulsradar på 9 GHz.
Noggrannhet:	Motsvarar ILS/Kat I.
Räckvidd:	Täckning i sida +/- 15 grader relativt inflygningsriktningen och upp till 8 grader i höjd över horisontalplanet.
Tillgänglighet:	Här beskrivet system utnyttjas enbart inom svenska Försvarsmakten och förekommer på samtliga flygflottiljer.

Systembeskrivning

PAR (Precision Approach Radar) är ett radarlandningshjälpmedel där trafikledaren på grundval av radarbild muntligt informerar flygföraren om planets läge under landningen. Systemet utgör vanligen beståndsdel i ett överordnat GCA (Ground Controlled Approach) inkluderande även sekundärradarfunktion.

I PAR utnyttjas två svepande sändarantennor, en i höjdläge och en i sidläge, båda täckande inflygningsområdet. Trafikledaren får, på grundval av den ekobild flygplanet ger upphov till, information om planets läge i sida och höjd i förhållande till den nominella glidbanan (som är inritad i förhand på radarrepresentationsbilden).

Erforderlig flygplanutrustning utgörs av enbart mottagare för radio-kommunikation genom vilken föraren får styrorder från marken.

PAR kan användas parallellt med andra landningssystem för kontroll av deras noggrannhet eller för övervakning av inflygning. Systemets kapacitet begränsas dock till vad trafikledaren hinner med. Noggrannheten är jämförbar med den som erhålls vid bruk av ILS av Kat I-klass.

Lägesbeskrivning/användare

Ovan beskrivet PAR-system förekommer inom svenska Försvarsmakten och används vid samtliga flygflottiljer vid behov i samband med landning av flygplan, som inte redan utnyttjar landningshjälpmedlet TILS eller civil ILS. Radarlandningssystemet PAR utnyttjas även inom finska försvarsmakten samt av civila flygbolag, bl.a. SAS, där samutnyttjande av militära flygfält förekommer, som i t.ex. Ronneby. PAR utgör vidare standardlandningshjälpmedel inom NATO fram till år 2005.

Utvecklingstendenser

Samtliga Försvarsmaktens PAR-anläggningar har modifierats och försetts med bl.a. ny elektronik och förväntas vara kvar till ca år 2006.

1.2.2.8 TILS (Taktiskt instrumentlandningssystem)

Tekniska data

Signaldata:	Pulsade signaler inom frekvensområdet 15 GHz. Uppgift om informationstyp (sid- respektive höjdlägesinformation) och vinkelläge baseras på kodning genom pulspositions-modulation (PPM).
Noggrannhet:	Noggrannhet 0.25 grader i sida och höjd.
Räckvidd:	Räckvidd 100 km vid fri transmission.

Tillgänglighet: Begränsad till militär användning vid flottiljflygplatser, övningsflygplatser samt övriga militära flygplatser. I drift är sändningen kontinuerlig och med obegränsad kapacitet.

Systembeskrivning

TILS, som kan anses som en föregångare till dagens civila MLS, utgör ett militärt mikrovågslandningssystem som ger glidbana i sida och höjd. Det är tillverkat i USA (Telephonics) där det huvudsakligen utnyttjas för hangar fartygbaserat flyg. I Sverige finns det installerat på samtliga flygflottiljer och krigsbaser för precisionslandning med hög noggrannhet. Systemet utnyttjas även inom finska försvarsmakten.

TILS skiljer sig från konventionell ILS genom mycket högre frekvens och genom teknik med svepande lober i täckningsområdet. För sid- respektive höjdlägesinformationen utnyttjas härvid två smala lober som sveper över täckningsområdet horisontellt och vertikalt. Varje läge hos en lob motsvarar en viss kodad pulskombination, som avkodas i flygplanmottagaren och presenteras för piloten som en position i förhållande till lobens referensläge. Kodningen representeras av pulståg i dubbelpulskonfiguration. Pulsavståndet inom dubbelpulsen identifierar informationstypen, dvs. sid- respektive höjdinformation, medan avståndet mellan två på varandra följande pulspar ger den aktuella vinkelinformationen.

Lägesbeskrivning/användare

Systemet, som fodrar speciell mottagar- och antennutrustning, är helt begränsat till militär användning och finns fast installerat i anslutning till flottiljer och krigsbaser. Användare är idag AJS 37 samt JA 37 Viggen och JAS 39 Gripen samt transportflyg Tp 84 Herkules.

Utvecklingstendenser

Befintliga markstationer har modifierats, bl.a. har metod för ökad rörlighet införts, och systemet förväntas vara i operativ drift fram till år 2015.

1.2.2.9 Nödpejl

Tekniska data

Signaldata: 121,5 MHz samt 243 MHz

Noggrannhet:	ca 2-5 grader
Räckvidd:	Beroende på sändarens uteffekt och placering (typiskt 5-10 km vid pejling på marken)
Tillgänglighet:	När nödsändare (ELT) på de internationella nödfrekvenserna 121,5 MHz och 243,0 MHz sänder efter aktivering kan de kontinuerligt pejlas.

Systembeskrivning

Luftfartyg i linjefart, även militära, är utrustade med en batteridriven nödsändare som aktiveras automatiskt vid G-kraftpåkänningar, t.ex. vid en kraschlandning. Sändaren kan även aktiveras manuellt. Nödsändaren sänder en speciell modulerad tonsignal både på 121,5 MHz och 243 MHz. En bärbar pejl består av en riktantenn kopplad till en batteridriven mottagare med en riktningsindikator som enkelt kan bäras i handen under eftersökning av ett havererat flygplan i terrängen. En stor nackdel med systemet är att man inte vet vilken nödsändare som sänder, och många av misstag startade sändare orsakar onödiga insatser.

Signalerna kan även pejlas in i de fasta VDF/UDF-pejlarna på flygplatserna. ELT-sändarnas signaler kan även tas emot av COSPAS/SARSAT-satelliter, se även 1.4.4. som passerar över sändaren. Man får då en grov positionsindikering.

Lägesbeskrivning/användare

Varje flygplats har minst två bärbara pejlar som snabbt kan tas i bruk av räddningspersonal för att pejla in en sändare vid ett verkligt eller förmodat haveri. Försvarets räddningshelikoptrar är också utrustade med pejlar.

Utvecklingstendenser

En övergång till en ny typ av sändare, som sänder på 406 MHz pågår, se 1.4.4.

1.2.3 System för sjöfart

1.2.3.1 VDF (Fasta pejlstationer för sjöfart)

Tekniska data

Signaldata:	Frekvensband 155-162 MHz.
Noggrannhet:	$\pm 6^\circ$ (SjöV:s utrustningar)
Räckvidd:	Mot fartyg upp till 20 M
Tillgänglighet:	Fartyg kan pejlas när de sänder på talkanaler inom ovanstående frekvensband.

Systembeskrivning

VDF = VHF Direction Finding.

Pejling är det äldsta radionavigeringshjälpmedlet inom luft- och sjöfart. Det används ännu i mer eller mindre automatiskt utförande ombord på luftfartyg t.ex. för NDB-pejling. Här ska emellertid endast beskrivas de fasta landbaserade pejlstationer som används inom sjöfart.

Pejlingen sker i dessa stationer automatiskt med s.k. Dopplerpejl. Funktionen är sådan att en dipol får rotera i en cirkel (radien = r) med en vinkelhastighet ω . Genom att antennens hastighet gentemot sändaren kommer att variera sinusformigt mellan $\pm \omega r$ kan man med hjälp av dopplereffekten på den mottagna signalen avgöra när antennen pekar mot sändaren. Rotationen sker genom elektronisk omkoppling av ett antal fast placerade dipoler. Exempel på storlekar som förekommer är 4 dipoler med cirkeldiametern 0,5 m och rotationshastigheten 64 varv per sekund.

Lägesbeskrivning/användare

Sjöfartsverket har VHF-pejlar på ett fåtal lotsstationer. Vissa lotsbåtar är också utrustade med VHF-pejl. Pejlinformationen får hanteras manuellt och plottas på sjökort. Användningsområdet är främst att lokalisera fartyg i samband med sjöräddningsoperationer.

Utvecklingstendenser

Inom sjöfarten används pejling allt mindre och befintliga fasta system avvecklas efter sin livslängd utan att ersättas. Livslängd för befintliga system förväntas överstiga år 2010.

1.2.3.2 Raconer

Tekniska data

Signaldata:	RACON (RAdar beaCON) arbetar i 3 cm (9300-9500 MHz) och i 10 cm (2900-3100 MHz) banden.
Noggrannhet:	Fördröjningen av svaret från en racon är ca 0,5 μ s vilket motsvarar ett avståndsfel av ca 75 m.
Räckvidd:	15 M (typisk) beroende på raconens placering och på radarantennens höjd.
Tillgänglighet:	Ca 100 %.

Systembeskrivning

Racon är ett maritimt navigeringshjälpmedel av transpondertyp som aktiveras av en signal i radarbandet. Svaret ges med en kombination av korta och långa pulser, vilka identifierar raconen och visas som korta och långa ”bäringsstreck” på radarskärmen. De flesta raconer i Sverige är av typen ”Frequency agile“, dvs. raconen svarar på samma frekvens som den aktiverande radarn. I Väner och även utomlands, används fortfarande en typ av racon som kallas ”Swept frequency racon, vilket betyder att den kontinuerligt söker genom radarbandet under en viss tidsperiod (1-2 minuter). Utomlands förekommer också raconer, som svarar på endast 3-cm radar.

Lägesbeskrivning/användare

Raconer finns i dag på såväl fast som flytande utmärkning till ett antal av ca 80 st ytterligare några installationer planeras. De flesta arbetar på såväl 3 som 10 cm. Svaret från en racon kan antingen vara en puls av viss varaktighet - en eller två sjömil - eller bestå av ett morsekodat svar för identifiering. Racon är ett navigeringshjälpmedel som ger en säker identifiering av viktiga punkter i det relativa referenssystem som radar ger.

Utvecklingstendenser

Raconer anses som ett viktigt navigationshjälpmedel och kommer att vara kvar under överskådlig framtid. För radarutrustningar som installeras efter 2008 och som arbetar på S-bandet finns inget krav på att de kan fungera tillsammans med befintliga eller nya racon. Denna förändring är en följd av ITU:s strängare krav på störningar från radar.

ITU:s krav på reducering av radarutrustningars störningar i angränsande frekvensområden framtvingar nya radarkonstruktioner med sådana egenskaper att dess signaler inte ”triggar” raconer att ge svar. Olika tillverkare förväntas finna olika lösningar för att minska ”out of band emissions” och f.n. är ingen standard accepterad som fungerar tillsammans med befintliga racons. Det är heller inte klart hur en framtida racon skall konstrueras för att fungera tillsammans med nya radarutrustningar från olika tillverkare. Frågan har uppmärksamats inom IMO och ITU men någon lösning av problemet har ännu inte utarbetats.

För radar som arbetar på X-bandet finns f.n. inga planer på ändrade störningskrav som skulle kunna påverka funktionen tillsammans med racon.

1.2.3.3 Nödpejl

Tekniska data

Signaldata:	121,5 MHz
Noggrannhet:	6-10 grader
Räckvidd:	Antennhöjdsberoende

Systembeskrivning

Systemet används för lokalisering av nödsändare typ EPIRB inom ett begränsat område. Flertalet enheter som utrustas för deltagande i ”Search and Rescue” operationer är utrustade med pejl som ger bäringen till sändaren.

EPIRB:en sänder ut en ”homing-signal” som kan utnyttjas för pejling från en eller flera sökenheter.

1.2.4 Övriga system

1.2.4.1 Mobiltelefonbaserad landnavigering

Tekniska data

Signaldata:	GSM Mobila sändare 890-915 samt 1710-1785 MHz Basstationer 935-960 samt 1805-1880 MHz (GSM-R mobila sändare 876-880 MHz, basstationer 921-925 MHz.) UMTS mobila sändare i Europa 1920-1980 MHz, basstationer 2110-2170 MHz Modulationen i GSM är GMSK med tidsmultiplex (TDMA) Modulationen i UMTS är Spread-spectrum med kod- och frekvensmultiplex (FDD W-CDMA)
Noggrannhet:	För GSM: F.n. cirkelbågsegment eller areor med cirka 300-1000 m utsträckning För UMTS: Under utveckling, målet är en upplösning bättre än 50 m
Räckvidd:	Där GSM- och UMTS-nät är utbyggda
Tillgänglighet:	Positioneringstjänsten är tillgänglig inom hela täckningsområdet efter överenskommelse med myndigheter och operatörer.

Systembeskrivning

Ericsson har utvecklat en positioneringsfunktion för befintliga GSM-nät som kallas MPS, Mobile Positioning System. Positioneringen sker genom beräkning av en tidsfördröjningsparameter i systemet som kombineras med information om basstationens antennriktning. För närvarande används endast en basstation varför resultatet blir cirkelbågar med som bäst ca 300 m bredd. Denna positionering bygger på information som redan finns i GSM-Standarden. Endast mjukvaruändringar krävs i vissa av nätets delar. Inga ingrepp eller förändringar av mobiltelefonerna behövs. Genom triangulering av distans- och riktningsmätningar från två eller flera basstationer kan noggrannheten ytterligare ökas.

Motsvarande funktioner finns i UMTS-standarderna, och har potential för ytterligare ökad noggrannhet.

Lägesbeskrivning/användare

Telia har sedan 1999 drivit ett pilotprojekt med SOS Alarmering AB som avser att presentera positionen på inkommande larmanrop från GSM-telefoner.

Liknande applikationer för t.ex. stöldlarm av båtar och bilar finns numera hos de flesta GSM-operatörer.

Även lokaliseringstjänster som vänder sig direkt till konsumenterna börjar förekomma, t.ex. att lokalisera vänner och kollegor inom ett geografiskt område ("FriendFinder"), information om t.ex. restauranger och affärers utbud och öppettider i området, och som inslag i marknadsaktiviteter (t.ex. i "dokusåpor" och äventyrsprogram i kommersiell TV).

Utvecklingstendenser

Positioneringstjänster anses numera som ett marknadssegment av stor betydelse för operatörerna med ett stigande marknadsvärde.

Det stora kommersiella värdet gör det svårt att bedöma vilka former mobiltelefonibaserad positionering kan få i framtiden, eftersom marknadsaspekter kan väntas vara överordnade tekniska lösningar.

Ericssons MPS är föremål för standardisering inom ETSI. Andra positioneringssystem än den ovan beskrivna tidsmätningen kan också använda denna standard. T.ex. kan basstationspositioneringen kombineras med GPS-information från GPS-utrustade mobiltelefoner.

När det blir möjligt att positionsbestämma från tre basstationer samtidigt, kommer precisionen att öka avsevärt.

Systemet har en mängd utvecklingsmöjligheter som kan erbjudas mobiltelefonanvändarna, t.ex. möjligheten att hitta närmaste hotell, bilverkstad etc. I USA har lagkrav kommit 2001 på att alla mobiltelefonnät ska kunna erbjuda positionering med 125 m noggrannhet.

1.2.4.2 ATC (Automatic Train Control)

Tekniska data

Signaldata:	27 MHz (27,115 MHz +/- 5 kHz eller 27,095 MHz +/- 5 kHz) (ned). 45 MHz +/- 200 kHz, FSK-modulerat (upp). I huvudsak magnetisk koppling
Noggrannhet:	Storleksordning 2 m vid informationspunkt (balis). Mellan informationspunkterna sker dödräkning och noggrannheten minskar proportionellt mot fel i hjuldiameter och körd sträcka. Felets tillväxt är därvid av storleksordning 50 m per km (utan hänsyn till slirning och kaning)
Räckvidd:	Informationspunkt c:a 0,5 m. Därefter död räkning. Avståndet mellan informationspunkter är av storleksordning 1000 m (varierar mellan 12.5 m och 11900 m)
Tillgänglighet:	Större delen av järnvägsnätet

Systembeskrivning

ATC utvecklades i slutet av 70-talet, primärt som ett övervakningssystem för att förhindra att tåg framförs med för hög hastighet eller passerar signaler i stopp. Med tiden har dock funktionaliteten utökats så att ATC nu utgör en förutsättning för framförande av tåg på alla linjer utom de minst trafikerade.

Tekniskt består systemet av transponders, ”baliser”, placerade mitt i spåret vid t.ex. signaler. När ett tåg passerar aktiveras baliserna av en 27 MHz signal som sänds ut av en antenn placerad under tågets första fordon. Balisen svarar genom att ’eka’ tillbaka ett 4,5 MHz telegram, vilket normalt innehåller information om tillåten hastighet, målhastighet, målavstånd (avstånd där målhastigheten skall vara uppnådd), länkningsavstånd (avstånd till nästa signal), lutning (för beräkning av bromsning), m.m. I det fall balisen svarar mot en signal beror överförd information av den signalbild som visas. Systemet ger således inte absolut position, utan endast avstånd till kringliggande punkter. För speciella tillämpningar, t.ex. RATC (Radio Automatic Train Control; se nedan) kan dock en balis koda med individuell identitet, vilken sedan kan översättas till absolut position. P.g.a. balisens korta räckvidd används mottagen 4,5 MHz signal som referens vid positionsbestämning. Därefter tillämpas död räkning baserat på hjuldiameter och axelmonterad pulsgivare.

Informationen presenteras i förarhytten i form av hastigheter. Baserat på avstånd, lutning, målhastighet, bromsförmåga, osv beräknar systemet den position där bromsning bör inledas. Föraren uppmärksammas på detta genom en serie akustiska och visuella varningar. För den händelse dessa ignoreras utlöses drift/nödbroms.

Lägesbeskrivning/användare

ATC är idag fullt utbyggt på samtliga huvudlinjer i det svenska järnvägsnätet. ATC finns även installerat på en betydande del av de mindre trafikerade banorna. Systemet används också på många linjer i Norge. Ett närbesläktat system (dock ej kompatibelt) införs successivt i Finland. I de flesta Europeiska länder finns system med liknande egenskaper.

Utvecklingstendenser

Den allmänna utvecklingen följer i princip tre huvudinriktningar:

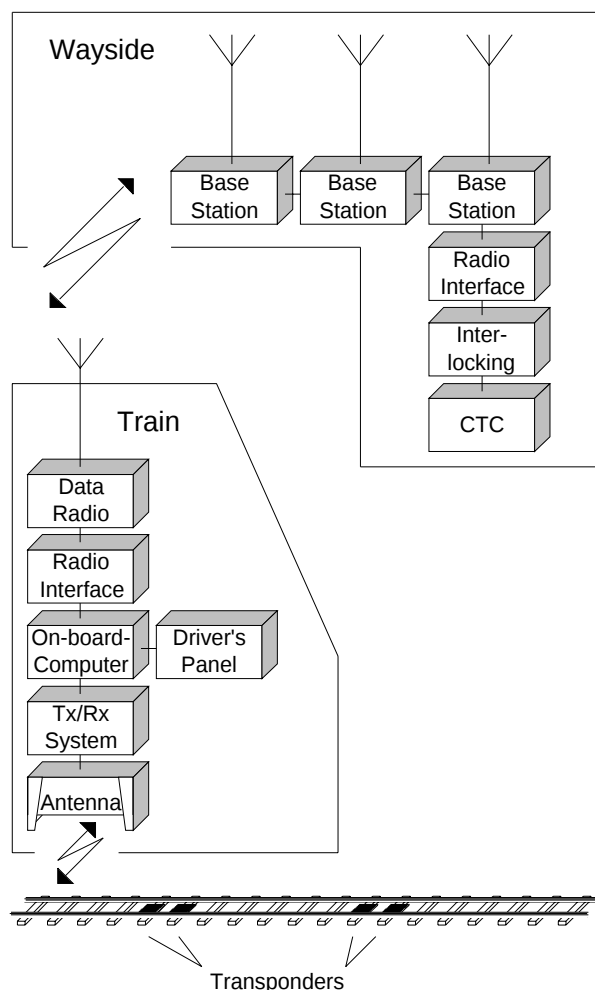
- Öka informationskapaciteten
- Öka flexibiliteten genom att möjliggöra kontinuerlig överföring av information
- Minska behovet av avancerad utrustning i spåret

För mindre trafikerade banor är framförallt de två sistnämnda faktorerna av stor betydelse, främst av ekonomiska skäl. I Sverige har detta lett till utvecklingen av RATC (Radio Automatic Train Control) som ett tillägg till ATC. Med RATC bortfaller kravet på fasta ljussignaler utefter banan i stort sett helt och hållet. I stället placeras endast fast kodade baliser vid de punkter där

signaler normalt skulle ha lokaliserats. Balisens funktion blir därmed i huvudsak att agera som positionsreferens, vilken åstadkoms genom unik identitet. Vid varje passage av en sådan referens uppdaterar tåget sin position, och sänder även information via radio till en "Radioblockcentral". Med utgångspunkt från dessa positionsrapporter kan centralen uppdatera varje tågs position i systemet och därefter styra tågtrafiken genom att via radio sända medgivanden att passera olika referenspunkter.

RATC finns i drift på linjen Linköping - Västervik samt Bjärka-Säby - Rimforsa. För radiokommunikationen i dessa applikationer används separata 450 MHz kanaler. Dessa utgör dock endast rena informationsbärare, varför

frekvenserna mycket väl kan komma att ändras i ett senare skede. RATC kommer inte att byggas ut på fler banor. Se figur nr 5.



Figur nr 5. RATC. Principskiss

För att i framtiden möjliggöra effektivare tågtrafik mellan länder i Europa pågår f.n. utveckling av det s.k. ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System / European Train Control System). Systemet är genom moduluppbyggnad tänkt att kunna användas i kombination med ett flertal olika typer av (ofta nationsbunden) markutrustning. Huvudmålsättningen är dock att även denna på sikt skall standardiseras inom typerna: balis, spår-förlagd slinga, samt radio. För baliskommunikationen kommer följande frekvenser att användas:

27,095 MHz (ned)

4,234 MHz +/- 200 kHz, FSK-modulerat (upp)

För radiokommunikation kommer GSM-R (R=Railway) att utnyttjas. GSM-R är ett speciellt GSM-nät som blivit standard för tågradiosystem i Europa och med egna frekvenser i 900 MHz bandet. Det är under utbyggnad i Sverige av Banverket. I systemet finns även specifika järnvägsfunktioner som t.ex. bärare av ETCS-information, nödanrop samt positionsberoende adressering.

Den senare användningen innehåller en positioneringsfunktion. Positionsberoende på adressering innebär att vid användning av GSM-R i t.ex. lok skall hela tiden lokförarens samtal med tågledningscentralen kopplas till den central som har ansvar för aktuell bansträcka. Enligt standarden för GSM-R skall man använda identiteten på den radiocell där tåget befinner sig som utgångspunkt för till vilken tågledningscentral samtalet skall kopplas. Användning av radiocellidentitet ger dock endast begränsad noggrannhet och kompletteras därför inom Banverket med information från det fasta signalsystemet

1.2.4.3 Kartkorrelation (Map-matching)

En intressant applikation utgör användning av kartdatabaserad information för landnavigering. I första hand är applikationen begränsad till vägnät på landsbygden respektive i tätortsmiljö. Metoden baseras på korrelationsteknik typ Map-matching. Genom korrelation av tillryggalagd väg med tillgängliga möjliga kombinationer enligt kartdatabasens vägnät torde noggrann estimering av fordonets position kunna genomföras. Bruk av mikromekaniskt dödräkningssystem (DR), t.ex. kurs- och girvinkelmätare i kombination med vägmätare av typ Odometer, torde vara tillräckligt för framgångsrikt utnyttjande av Map-matching metoder för landnavigering. Även skrofast tröghetsnavigeringssystem (TN) av lågkostnadstyp baserat på mikromekaniska komponenter kan utnyttjas som grundreferens. Använt DR/TN-system kan samtidigt trimmas till högre noggrannhet genom utnyttjande av tekniken för integrerad navigering. Uppskattad noggrannhet cirka 10 m och uppskattad framtida kostnad ca 5000 SEK för system baserat på DR som grundalternativ för navigering. Kostnad för kartdatabasen bedöms kunna bli låg i framtiden. Positionsinformationen presenteras löpande för operatören på en bildskärm med kartbild. Kostnad idag för navigatorer för fordonsbruk baserat på GPS i kombination med DR-system och bruk av elektroniska kartdatabaser är av storleksordningen 20 000 – 30 000 SEK.

Metoden utnyttjas idag för uppdatering av positionen i vissa hyrbilar som komplement till GPS.

Framtidsutsikterna syns goda för denna typ av applikation. Massproduktion av utrustningar torde kunna förutses, vilket drastiskt sänker kostnaden och metoden i kombination med bruk av GPS blir sannolikt standard inom framtida bilindustrin. Map-matching metoder är av såväl civilt som militärt intresse.

En annan typ av kartkorrelation är den som är under utveckling för bl.a. flygplan 39 Gripen och bygger på korrelation mellan lagrade höjdkurvor och uppmätta radarhöjdvärden.

1.3 OMBORDBASERADE SYSTEM

Sammanställning av radionavigeringshjälpmedel vars funktion baseras på bruk av ombord på den navigerande farkosten medförd intern utrustning utan behov av yttre sändaranläggningar.

1.3.1 Navigeringsradar

Tekniska data

Signaldata:	Vanligtvis pulsradar på S-band 2.9-3.1 GHz (10 cm) eller X-band 9.3-9.5 GHz (3 cm), pulsbredd 0.05-2.0 μ sek, pulsrepetitionsfrekvens vanligen inom intervallet 1000-4000 Hz, pulstoppeffekt ca 1-50 kW. Lobbredd ca 1-2 grader horisontellt och ca 15-30 grader vertikalt. Horisontell polarisation vanligast men även vertikalt polariserad S-bandsradar förekommer. Även Ku-bands 12-18 GHz (2,5 - 1,6 cm) och W-band ca 100 GHz (3 mm, s.k. mm-vågsradar) förekommer.
Noggrannhet:	Avståndsmätfelet av storleksordning 10 m (95 %) inom kortaste räckviddsområdet (ca 0.25 M). Bäringsfelet av storleksordning 0.5 - 1 grad. Felet ökar med ökat avstånd och är av storleksordning 50 m i avstånd inom 30 M området.
Räckvidd:	Vanliga räckviddsområden 64-72 M. Med hänsyn till jordkrökningen blir räckvidden, som är starkt beroende av antennhöjden samt målets höjd, i praktiken normalt begränsad till ca 20 M för en fartygsradarstation.
Tillgänglighet:	Systemen utnyttjas såväl civilt som militärt, är helt autonoma, dvs. baseras helt på egen medförd utrustning, samt är kontinuerligt tillgängliga.

Systembeskrivning

Metoder baserade på RADAR (RADio Detection And Ranging) ger avstånd och riktning till såväl fasta som rörliga föremål förutsatt dessa är av tillräcklig storlek (eller form) för att ge ett identifierbart eko på använd radar-presentationsutrustning, i grundutförande normalt av typ PPI (Plan Polär

Indikator). Vanligaste typ av presentation för användaren utgörs idag av en lätt identifierbar, kartliknande bild på färgskärm eller i svart-vitt.

Radar fyller en tvåfaldig funktion genom att den dels visar egen position relativt omgivningen, dels talar om var andra farkoster är i förhållande till eget läge. Från 1995 bestämmer SOLAS konventionen (IMO), Safety Of Life At Sea, att alla passagerarfartyg i internationell fart och alla lastfartyg med bruttodräktighet > 300 t och i internationell fart skall vara utrustade med minst en X-bandsradar (3 cm). Fartyg av storleken 3 000 t och däröver skall vara utrustade med 2 radarsystem varav ett på X-bandet. Dessutom skall ett av dessa ha ARPA-funktion.

En annan viktig funktion är användning av navigeringsradar i kombination med kurs- och fartgivare (t.ex. dopplerlogg) som hjälpmedel för bestämning och övervakning av kontrollerade girar med stora och tunga fartyg i trånga skärgårdsleder. Denna funktion utnyttjas i hög grad inom färjetrafiken mellan Sverige och Finland.

Lägesbeskrivning/användare

Navigeringsradar utgör ett mycket viktigt hjälpmedel för fartygsnavigering. Ombord på dagens fartyg har radarapparater näst efter kompassen blivit det mest använda navigeringsinstrumentet såväl civilt som militärt vid navigering längs kust eller i trånga farvatten i skärgårdsleder.

Radarn som navigeringsinstrument, speciellt på fartyg, har ökat och ökar sin betydelse. Radarnavigering är ofta en huvudmetod, varvid optisk navigering och lägen från andra radionavigeringssystem utgör komplement.

Raconer och många sjömärken som försetts med särskilda radarreflektorer ökar ytterligare radarsystemens användbarhet.

Förutom ren navigering och kollisionsövervakning används radar i många andra tillämpningsområden t.ex. för spaning, eldledning och stridsledning militärt, för övervakning av hamninlopp eller lufttrum, som antikollisionsradar eller väderradar i flygplan. I flygplanfallet kan därvid väderradarfunktionen utnyttjas även för lokalisering med hjälp av radarbilder av underliggande terräng.

Syntetisk aperturradar (SAR) kan användas för karteringsändamål och jordresursmätning och ger flygfotoliknande bilder med upplösning ner till 1x1 m. Vissa typer utnyttjar interferometri för att även få information om

terrängens höjd. Tillämpningen är i första hand av militärt intresse och stor forsknings- och utvecklingsverksamhet pågår såväl internationellt som i Sverige.

En mycket vanlig tillämpning är användning av radar kompletterat med s.k. sekundärradar av transpondertyp (SSR-Secondary Surveillance Radar) för flygtrafikledning inom terminalområden fram till landning. Genom transponderfunktionen får trafikledaren direkt information om flygplanens identitet, fart, kurs och höjd. Funktionen är alltså i grunden ett tvåvägs kommunikationssystem mellan mark och flygplan. Numera baseras nästan all civil/militär flygtrafikledning på bruk av sekundärradar av s.k. monopolstyp (MSSR). Samma stationer utnyttjas därvid såväl civilt som militärt och den militära flygtrafiken leds normalt av de civila trafikledarna via länkförbindelse till flygflottiljerna.

Militärt används radar även som landningshjälpmedel; se vidare avsnittet om PAR (Precision Approach Radar).

Inom svenska marinen används bl.a. radarskivmetoder som hjälpmedel för att bättre kunna utnyttja radar för navigering speciellt under gång i hög fart i skärgård eller nära kust. Metoden baseras på att man genom övervakning och tolkning av PPI-bilden manuellt kan passa in och orientera den med koncentrisk avståndsringar försedda genomskinliga skivan på sjökortet så att skivans centrum och stävmarkering sammanfaller med fartygets bedömda läge och kurs enligt radarbilden. Skivan förflyttas sedan i kortet i takt med radarbildens förändring gentemot omgivningen. För att kunna täcka olika sjökortskalor och aktuella valbara avståndsskalor i använt radarsystem måste en hel uppsättning olika skivor finnas tillgängligt ombord. På små fartyg med begränsat utrymme utnyttjas istället ett elektroniskt sjökort med överlagrad radarbild.

Utvecklingstendenser

Användning av radar för navigering i skärgård och kustnära farvatten får fortsatt stor betydelse i civila och militära tillämpningar. Bruk av radar syns få ökad betydelse även för småbåtar som komplement till GPS. Presentationen av radarbilden är idag förbättrad genom användning av billiga platta skärmar uppbyggda med flytande kristaller och bruk av s.k. Thin Film Technique (TFT).

Inom handelssjöfarten finns ofta såväl X- som S-bandsradar samtidigt (krav på fartyg över 3 000 ton), för att man vid behov skall kunna välja mellan antingen hög vinkelnoggrannhet och upplösning eller låg regn- och sjöklotterkänslighet.

Genom utnyttjande av modern signalbehandlingsteknik som t.ex. syntetisk ekoförbättring, färggrafik m.m. blir presentationen allt tydligare. Radarbildens överensstämmelse med omgivningen blir bättre i takt med ökad integration av radar, elektroniska sjökort (ECDIS) och GPS varvid radarbildens läge styrs av differentiell GPS (DGPS). Dylik koppling till DGPS har framgångsrikt utnyttjats under många år inom finlandsfärjetrafiken.

Allt fler fartyg utrustas med automatiska plottingsystem typ ARPA och idag torde flertalet fartyg över 1000 ton (enligt IMO direktiv) ha sådan utrustning installerad.

En intressant metod för att kunna lokalisera små mål, typ små isberg, som ligger dolda i vattenytan, ubåtsmaster etc. är att utnyttja s.k. koherent radar med dopplerfiltrering. Metoden har framgångsrikt provats av dåvarande FOA (idag FOI) i det s.k. ICERAD-projektet. Koherens kräver TWT-sändare (Travelling Wave Tube - s.k. vandringsvågrör), vilka normalt är för dyra för navigeringsändamål, där man istället använder magnetroner. Utveckling mot billigare halvledarsändare istället för TWT-sändare pågår (se nedan) och kan bana väg för sådana nya navigeringsfunktioner.

Halvledarsändare som alternativ till TWT har kommit fram i allt större utsträckning i och med framtagandet av mikrovågsförstärkare i halvledarteknik och förekommer idag i moderna gruppantenner. Radar baserad på bruk av billiga halvledarsändare syns vara av stort intresse, speciellt för militära ändamål. Utvecklingen inom mobiltelefoni har drivit fram produktion av halvledarförstärkare för mikrovågor i stora serier, vilket gör att styckepriset sjunker.

Varje radar är aktiv och avger röjande strålning, vilket är en nackdel i militära sammanhang och leder till restriktivitet i användningen då systemen normalt behövs som bäst. För militärt bruk har man därför utvecklat system och metoder baserade på bandspridningsteknik och FMCW för att minska röjande strålning. Dessa system arbetar vanligen på X-band. Andra tekniker för att minska den röjande strålningen är t.ex. bruk av multistatisk radar eller system med snabba frekvenshopp kombinerat med riktad sändning och användning

av lägsta möjliga effekt. Vid t.ex. skärgårdsnavigering kan man utnyttja mm-vågsradar med hög atmosfärdämpning. Räckvidden är dock mycket kort.

En annan intressant militär utveckling baseras på bruk av s.k. flerfunktions-aperturer där en och samma antenn med bredbandsfunktion kan utnyttjas för en rad skilda ändamål som navigering, spaning, kommunikation m.m. Tekniken innebär bl.a. minskat utrymmesbehov på farkosterna.

Navigering speciellt med mm-vågsradar kan bli aktuell när tekniken för mikroelektronik har blivit billigare inom inte alltför många år. Potentialen är stor för utveckling av små utrustningar med räckvidd upp till 10 km i bra väder. Påverkan av regn och snötäckt mark måste beaktas. Inga operativa system är ännu kända. Bortsett från rent militärt bruk förutses mm-vågsradar även komma att användas i landningssystem för flygplan, i farthållarsystem för bilar och vid övervakning av fordons- och flygplatsrörelser på flygplatser. Sådan bilradar med mycket hög mätnoggrannhet inom avståndsområdet 100-200 m (vid 77 GHz) kan redan idag levereras som extrautrustning till vissa exklusivare bilmodeller. Inom bilindustrin pågår även utveckling av radarsensorer till antikollisionssystem för bilar. Sådan radar med ett räckviddsområde om ca 20 m (vid 24 GHz) har presenterats i konceptbilar.

Som komplement till radar i nästa generations trafikledning och övervakning till sjöss och i luften kommer sannolikt transpondermetoder av den typ som närmare beskrivs i avsnittet om GPS-tillämpningar att användas.

Avslutningsvis kan noteras att beslut har tagits inom ITU om skärpta krav på reduktion av utombandseffekter. Detta har framtingat utveckling av ny radarteknik som även förväntas medföra förbättrad måldetektering men som också medför att dessa radar inte ”triggar” racons.

En inledande utveckling pågår också av system för radarbaserad kartkorrelation varigenom positionen kan beräknas ur radarinformation i kombination med information från elektronisk sjökortsystem.

1.3.2 Dopplernavigeringssystem för flygplan

Tekniska data

Signaldata: FM-CW signal på K-bandet som utsänds i form av tre separata radarlober i Janus-konfiguration.

Noggrannhet:	Fartfel 0.3 % av flygplanets fart över marken med reduktion till 1-2 % vid flygning över vatten.
Räckvidd:	Obegränsad för höjder under 1000 m. Med ökad höjd minskar noggrannheten.
Tillgänglighet:	Systemet öppet för såväl civil som militär installation.

Systembeskrivning

Ett dopplernavigeringssystem för flygbruk baseras på utnyttjande av dopplerradarfartmätare för bestämning av planets hastighet relativt marken. Dopplerradarn, dvs. navigeringssensorn, utsänder vanligen tre smala radarlober i skilda riktningar mot marken, där signalerna reflekteras och tas emot i flygplanets kombinerade sändarmottagarenhet. På grund av rörelsen medför dopplereffekten att den mottagna signalen får annan frekvens än den utsända.

Frekvensändringen är en funktion av farten i respektive lobriktning och genom utnyttjande av tre relativt flygkroppen symmetriskt utsända lobar kan fartens komponenter i längd och sida beräknas. Resulterande position fås genom dödräkning baserad på kombination av uppmätt dopplerfart med noggrann kursreferens. Moderna dopplerfartmätare arbetar enligt internationella överenskommelser normalt inom X- eller nedre delen av K-bandet. Systemet är i kontinuerlig drift vid användning och ger vanligen tredimensionell fartvektorbestämning i skrovfasta koordinater.

Lägesbeskrivning/användare

Systemet utnyttjas i militär flygverksamhet och begränsad omfattning av civil flygverksamhet. Det förekommer i svenska flygvapnet i vissa versioner av fpl 37 (Viggen) samt i Försvarsmaktens räddningshelikoptrar.

Utvecklingstendenser

Under avveckling

1.4 SATELLITBASERADE SYSTEM

Nedan följer en sammanställning av radionavigeringshjälpmedel vilkas funktion baseras på bruk av satelliter i banor runt jorden. GNSS (Global Navigation Satellite System) är ett generellt namn på satellitbaserade radionavigeringssystem.

Till gruppen GNSS hör satellitbaserade globala positions- och tidsbestämningssystem. De viktigaste idag befintliga systemen respektive pågående projekten inom gruppen GNSS är GPS, GLONASS och GALILEO. Det sker ett utökat samarbete kring utvecklingen av amerikanska GPS, ryska GLONASS samt europeiska GALILEO.

Förutom dessa system berörs i kapitlet även satellitbaserade sök- och pejlsystem för lokalisering av nödställda (COSPAS/SARSAT), samt system för lokalisering i kombination med datainsamling (ARGOS).

1.4.1 Sårbarhet vid användning av GNSS

Användning och utveckling av nya tjänster baserade på GNSS ökar kraftigt inom det civila samhället. Antalet civila GPS mottagare ökar kontinuerligt och marknadsvärdet av detta beräknades till 15 miljarder USD för 2004. En allt viktigare tillämpning av GNSS är frekvenssynkronisering och tidhållning i många typer av system och applikationer, t.ex mobila kommunikationssystem. Utvecklingen och den utbredda användningen av civila GPS mottagare har medfört att mottagarna har blivit billigare och att noggrannheten har förbättrats. Utvecklingen av tjänster och användningen och därmed beroendet av GNSS bedöms öka i framtiden.

Tyvärr kan de civila (öppna) signalerna (positionstjänsterna) för samtliga GNSS relativt enkelt blockeras. Den mottagna signal nivån för GPS-signalerna på jordytan är mycket svag. På grund av detta kan en relativt enkel radiosändare, så kallad störsändare, förhindra att en GPS-mottagare kan ta emot GPS-signalerna och därmed att bestämma dess position och tid. System som använder GPS eller GNSS är alltså potentiellt sårbara. Att konstruera en störsändare är relativt enkelt och komponenterna kan köpas från vanliga elektronikfirmor. På Internet finns ett flertal utförliga beskrivningar av GPS-störsändare med tillhörande kopplingsscheman. Tillgången till

störsändare utgör således ingen begränsning för en person eller organisation som vill genomföra en störattack.

Det finns ingen bekräftad incident med avsiktlig störning av civila GPS. Ett flertal fall av oavsiktlig störning (interferens) har dock inträffat som visar på GPS känslighet och dess konsekvenser. US DoD har bekräftat avsiktlig störning mot militär användning av GPS under senaste Irak-kriget vid anfallet mot Bagdad.

Hotet mot det civila samhällets användning och beroende av GPS har beskrivits i två rapporter, "GPS risk assessment study" av Johns Hopkins University 1999 och "Vulnerability assessment of the transportation infrastructure relying on the GPS" av Volpe Center 2001. De båda rapporterna ger en översikt av området. Krisberedskapsmyndigheten (KBM) har genomfört en utförlig sårbarhetsstudie av det svenska beroendet av GPS och studien finns publicerad på KBM:s hemsida.

Att GPS är känsligt för störningar avsiktliga eller oavsiktliga, är inte något nytt. Militärt har detta hanterats sedan systemet togs i drift och ett stort antal metoder och tekniker för att minska sårbarheten har utvecklats. Det finns därmed goda möjligheter att minimera risken med att använda GNSS för olika typer av applikationer. Strategin för detta måste utformas beroende på tillämpningen. Det är viktigt att vid kritiska tillämpningar av GNSS göra en sårbarhetsanalys och minimera riskerna.

1.4.2. GPS (Global Positioning System)

Tekniska data

Signaldata: Varje satellit sänder kontinuerligt tre olika "spread spectrum"-signaler på de båda frekvenserna 1575.42 MHz (L1) och 1227.60 MHz (L2). L1-signalen innehåller P(Y)-kod (Precision) och C/A-kod (Coarse/Acquisition) medan L2-signalen innehåller P(Y)-kod och den nya L2C. C/A-koden och L2C är öppet tillgängligt medan P(Y)-koden endast är tillgänglig i krypterad form, Y-kod. Koderna på L1- och L2-frekvenserna är fas-synkroniserade till satellitklockan och överlagrade med ett gemensamt satellitmeddelande.

En modernisering av GPS-systemet har inletts i och med

att den första satelliten med en civil kod på L2 – L2C – och nya militära signaler har sänts upp.

Noggrannhet:

- 1) **SPS-tjänsten** (Standard Positioning Service). SPS-tjänsten är den standardnivå för positionsbestämning och tidsöverföring, som är tillgänglig utan restriktioner för alla användare i hela världen. SPS-tjänsten ger tillgång till C/A-koden på L1 frekvensen varvid mottagaren också erhåller navigeringsmeddelanden.

Den specificerade noggrannheten (95 %) är 13 meter i plan, 22 meter i höjd och 40 nanosekunder i tidsöverföringen, globalt sett. Det finns dock vissa områden ("worst site") där noggrannheten är specificerad till 36 meter i plan och 77 meter i höjd, orsakat av ogynnsam satellitkonstellation.

I praktiken är noggrannheten oftast högre, i många fall dubbelt eller tre gånger så hög, bl.a. beroende på mottagarens kvalitet.

- 2) **PPS-tjänsten** (Precise Positioning Service). PPS-tjänsten är tillgänglig endast för USA:s och till USA allierade militära användare, samt en del civila amerikanska myndigheter som kan uppfylla USA:s nationella säkerhetskrav. PPS-tjänsten ger, förutom om tillgång till SPS-tjänsten, tillgång till dekryptering av P(Y)-koden både på L1- och L2-frekvenserna. Specifikationen för PPS-tjänsten är inte fritt tillgänglig.

Den svenska försvarsmakten är numera auktoriserad användare av PPS-tjänsten. I särskilda fall och efter begäran från ett lands regering, kan tillstånd erhållas för att utnyttja PPS-tjänsten även för civila brukare under en viss tidsperiod.

Räckvidd: Global täckning. Täckningsområdet omfattar jordytan upp till 3 000 km över denna.

Tillgänglighet:	. Sannolikheten är minst 98 % över ett godtyckligt 24-timmars intervall att det så kallade PDOP-värdet är 6 eller lägre, vid minst 5 graders elevation. Ett lågt PDOP-värde är mest gynnsamt. PDOP-värdet talar om hur satelliternas geometri påverkar positionsnoggrannheten, och beror på antalet synliga satelliter och deras konfiguration Förutsatt att räckvidden är enligt ovan kommer SPS-tjänsten att vara tillgänglig åtminstone 99% av tiden.
Integritet:	GPS behöver ett stödsystem för att kunna klara den civila sjö- och luftfartens krav på information om systemets tillförlitlighet i varje ögonblick. Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM, ett särskilt beräkningsprogram i GPS-mottagaren) och differentiell GPS (DGPS) är två viktiga metoder som kan användas. Två av de stödsystem som utvecklats i första hand för att tillgodose luftfartens krav på information om tillförlitligheten i satellitnavigeringssystemen är det amerikanska WAAS och det europeiska EGNOS (se avsnitt 1.5.3.4).

Systembeskrivning

GPS är ett satellitbaserat navigations- och positionsbestämningssystem. Systemet drivs och utvecklas av USA:s försvarsdepartement (DoD) och styrs av National Space-Based PNT Executive Committee, som i sin tur leds gemensamt av representanter för USA:s försvars- och transportdepartement. Denna styrkommitté ersatte IGEB (Interagency GPS Executive Board), som tidigare hade hand om policybeslut rörande GPS, i samband med lanseringen av en ny GPS-policy i december 2004. Ursprungligen utvecklades GPS för militära ändamål men spelar idag en betydande roll för alltför civila tillämpningar.

GPS består av tre delar eller segment: rymdsegmentet (satelliterna), kontrollsegmentet och användarsegmentet.

Rymdsegmentet består, enligt specifikationen, av minst 24 satelliter fördelade på sex banplan. Satelliterna rör sig 20200 km över jordytan i nästan cirkulära banor, som har inklinationen 55 grader, med en omloppstid på knappt 12 timmar. Sett från jordytan återupprepas satellitkonfigurationen ca fyra minuter

tidigare varje dygn. Minst fyra satelliter är samtidigt synliga på så gott som alla platser på jordytan med ett PDOP-värde på sex eller mindre. PDOP är ett mått på satellitgeometrin som är gynnsammare ju lägre värdet är.

Kontrollsegmentet består av de markbaserade övervakningsstationer som kontrollerar satelliternas banor. Antalet övervakningsstationer är tolv, efter en utökning under 2005 av de sex – inklusive driftledningscentralen i Colorado Springs – stationerna. Ytterligare fem övervakningsstationer planeras. Av stationerna är fyra också upplänk för navigationsdata. På övervakningsstationerna registreras kontinuerligt signalerna från alla satelliter som befinner sig ovanför respektive stations horisont. Mottagna data sänds sedan till driftledningscentralen där satelliternas banparametrar och korrekationer till satellitklockorna beräknas och predikteras framåt i tiden. Dessa sänds sedan regelbundet upp till satelliterna via upplänkstationerna för uppdatering av det satellitmeddelande varje satellit sänder ut.

Användarsegmentet utgörs av alla de GPS-mottagare som används världen över.

Grundprincipen för navigering/positionsbestämning med GPS är följande. Vad mottagaren primärt mäter är den tid det tar för signalen att från respektive satellit nå den. Med kännedom om signalhastigheten (ljushastigheten) kan avståndet mellan satellit och mottagare beräknas. Ur den kodade informationen från satelliten, kan man vidare räkna ut satellitens position vid tidpunkten för signalens utsändning. Om man på detta sätt kan bestämma avstånd och position för minst tre av satelliterna kan man ur dessa data beräkna mottagarantennens position. På grund av bristande synkronisering mellan mottagarens klocka och satelliternas krävs det i realiteten minst fyra satelliter för att beräkna en 3-dimensionell position för mottagarantennen. Det bör påpekas att ingen information skickas från en GPS-mottagare till satelliterna. Benämningen GPS-sändare, som ibland används, är därför fel om man inte syftar på GPS-satelliterna.

För avståndsmätningen mot satelliterna används två principiellt olika metoder; kodmätning respektive bärvågsmätning. Kodmätning är det samma som avståndsmätning på C/A- eller P-koden. Upplösningen i kodmätningen kan uppskattas till några decimeter. Noggrannheten i mätningen blir dock sämre p.g.a. en rad felkällor. Bärvågsmätning är det samma som mätning på satellitsignalens bärvåg. Upplösningen vid bärvågsmätningen kan uppskattas till några millimeter. Problemet med bärvågsmätningen är att den inte ger

någon information om antalet hela våglängder som har passerat. Man får en så kallad *integer ambiguity*, periodobekant.

Den enklaste formen av navigering/positionsbestämning kallas absolut navigering/positionsbestämning. Detta utförs med enbart en mottagare.

För att förbättra noggrannheten används relativ navigering/positionsbestämning. Detta innebär att minst två GPS-mottagare måste ta emot GPS-signaler från minst fyra gemensamma satelliter samtidigt för att erhålla en 3-dimensionell position. En av mottagarna placeras då på en punkt med kända koordinater. Denna mottagare kallas ofta *referensstation*. Om den andra mottagaren befinner sig relativt nära referensstationen så kommer felen som GPS-signalerna påverkas av att vara någorlunda lika i båda mottagarna. Eftersom referensstationens koordinater är kända så kan mätfelet i de uppmätta satellitavstånden estimeras. Genom att subtrahera dessa estimat så kan felen för den andra mottagaren reduceras. Om mottagaren tar emot GPS-data kontinuerligt kallas den en fast referensstation. Sådana stationer kan kontinuerligt förse användarna med GPS-data för efterberäkning och/eller GPS-korrekationer i realtid. Fördelarna med fasta referensstationer är att GPS-data kan kvalitetskontrolleras samt att användaren endast behöver en egen GPS-mottagare för att erhålla hög noggrannhet. I Sverige finns ett nationellt nät av fasta referensstationer –SWEPOS[®] – se vidare avsnitt 1.5.2.1.

De relativa mätmetoderna kallas DGPS och RTK då den korrigerade positionen erhålls i realtid. DGPS innebär kodmätning/bärvågsunderstödd kodmätning i realtid och ger en noggrannhet på 0,2 – 5 m. RTK (Real Time Kinematic) innebär bärvågsmätning i realtid och ger en noggrannhet på 1 – 3 cm + 1-3 ppm.

Det finns två principiellt skilda metoder för att beräkna korrekationer. Enklast är att korrektionerna beräknas utifrån data från en enda referensstation. Dessa korrekationer gäller inom ett begränsat område från referensstationen. Ett annat sätt är en s.k. nätverkslösning, där flera referensstationer binds ihop i ett datornätverk och en modell över felkällornas inverkan i området som stationerna täcker beräknas. Modellen används för att i realtid korrigera mätdata som insamlas i området.

Om positionsbestämningen sker i efterhand i en dator kallas det efterberäkning. Både kod- och bärvågsdata kan efterberäknas. Det vanligaste är att statistiska bärvågsdata beräknas.

Lägesbeskrivning/användare

GPS nådde IOC-status (Initial Operational Capability) den 8 december 1993, då SPS-tjänsten kunde upprätthållas. US Coast Guard och Federal Aviation Administration (FAA) förklarade senare GPS godkänt för navigeringsändamål i USA. Det åligger motsvarande myndighet i varje land att avgöra när GPS är godkänt för respektive navigeringstillämpningar. FOC-status (Full Operational Capability) uppnåddes den 17 juli 1995, vilket innebär att GPS också är fullt operationellt för militära tillämpningar.

USA:s transportdepartement har för kontakter med civila GPS-användare inrättat följande två forum: "Civil GPS Service Interface Committee" (CGSIC) och "GPS Interagency Advisory Council". CGSIC består av såväl amerikanska som utländska civila GPS-användare och är indelade i de tre underkommittéerna "International", "Timing" och "U.S. States and Localities". Lantmäteriet har åtagit sig att vara Sveriges kontaktorganisation i CGSIC och underkommittén "International", som har fyra regionkontor (Europa, Nordamerika, Asien samt Australien och Pacific Islands). "GPS Interagency Advisory Council" består av amerikanska statliga myndigheter.

Antalet GPS-användare har vuxit kraftigt under de senaste åren och förväntas fortsätta växa. I Sverige används GPS idag rutinmässigt i allt fler tillämpningar för såväl navigering som positionsbestämning trots att integritetskontroll på sekundnivå inte finns. Förutom inom transportområdet används GPS för mätning i samband med kartläggning, datafångst för geografiska informationssystem (GIS), lant- och skogsbruk, maskinstyrning vid anläggningsarbeten, geofysiska mätningar etc.

Eftersom GPS bygger på tidmätningar kan systemet dessutom användas för att få tidsestimat med hög noggrannhet. I det svenskutvecklade konceptet "GPS-transponder" har denna möjlighet använts för tidssynkronisering, så att ett stort antal användare skall kunna utnyttja samma radiokanal samtidigt. Se vidare avsnitt 1.6.3 och 1.6.4.

Ytterligare information om GPS och GPS-användningen i Sverige kan bl.a. fås från SWEPOS hemsida¹.

Utvecklingstendenser för civil GPS

¹ <http://www.swepos.com>

GPS vidareutvecklas för närvarande för att bättre tillfredsställa både de civila och militära användarnas krav. Programmet för vidareutveckling under de närmaste 15 åren går under beteckningen ”GPS modernization” (FRP 2001).

”GPS modernization” innebär förbättringar av noggrannheten i positions- och tidsbestämningen, tillgängligheten, integritetsövervakningen samt kontrollsegmentet. Ett första led i moderniseringen var att avaktivera den avsiktliga degraderingen SA, den 2 maj 2000. Noggrannheten vid absolut mätning förbättrades då avsevärt.

Två nya civila signaler kommer att införas, en civil kod (L2C) på L2 (1227,60 MHz) samt en civil kod (L5C) på den nya frekvensen L5, centrerad kring 1176,45 MHz. Den nya civila koden är en förbättrad version av C/A-koden. En ny civil kod på L2 innebär att jonosfärens inverkan kommer att kunna korrigeras direkt med en tvåfrekvensmottagare. Den tredje civila signalen är väsentligt mer bredbandig än de övriga och ger därmed betydligt högre störsäkerhet. Den avses vidare ge ökad redundans vid ”safety-of-life”-tillämpningar. Den kommer även att medföra att initialiseringstiden (tid till fixlösning) vid bärvågsmätning kommer att minska. Dessutom planeras för en ny kod på L1 (L1C) i framtiden. Den kommer att säkerställa interoperabilitet med Galileo. De nuvarande signalerna med C/A-kod på L1 samt P(Y)-kod på L1 och L2 kommer att behållas med tanke på bakåtkompatibilitet. Högre effekt planeras vid utsändning av både de civila och militära signalerna.

Den första satelliten med L2C-kod på L2 och M-kod på L1 och L2 (GPS IIR-M) sändes upp 2005 och ytterligare en sådan satellit sköts upp i september 2006. Först 2012 beräknas uppdateringen vara fullständig (FOC), dvs. minst 24 satelliter. Den första satelliten med den tredje civila frekvensen (L5) ska sändas upp 2007 med FOC planerad till 2015. (Årtalen är erfarenhetsmässigt osäkra.)

Redan satelliterna av den generation som hittills har sänts upp (GPS IIR) innehåller förbättringar jämfört med sina föregångare. De har bättre atomur samt bättre banbestämning genom bruk av s.k. ”cross-link”-förfarande. ”Cross-link” innebär att satelliterna kan kommunicera med varandra och på så vis själva utföra relativ banbestämning samt vidarebefordra från marken uppsänd information till varandra. Detta minskar det kontinuerliga beroendet av att kontrollsegmentet skall kunna nå varje enskild satellit för banbestämning och överföring av information från marken.

För civila tillämpningar utvecklas fortlöpande allt billigare och mer ”intelligenta” GPS-mottagare parallellt med metodutveckling för att få allt högre noggrannhet i positionen. Som exempel kan nämnas förbättrad signalbehandling för reducering av t.ex. flervägsfel, högre precision i C/A-kodsmätning (”narrow correlator”) samt snabbare initialisering vid RTK-mätning. Tack vare förbättrad signalbehandling har antennerna blivit både mindre och lättare.

Utvecklingstendenser för militär GPS

Från och med satellit version Block IIR-M och framåt införs ny militär kod (M-kod).

Detta är ett steg i utvecklingen av GPS samt konceptet Navigation Warfare som definieras inom NATO enligt följande: ”åtgärder för att förhindra fientligt nyttjande av information från system för positionering, navigering och tidreferens, samtidigt som egen obehindrad tillgång till informationen säkerställs, samt att fredligt nyttjande av informationen bibehålls utanför operationsområdet”.

NAVWAR kan sammanfattas med att effekten av den egna användningen av militär GPS ska maximeras samtidigt som den fientliga eller icke-önskade användningen av GNSS minimeras och helst förhindras.

Det kommer att vara möjligt att direkt använda (acquisition) M-kod utan att som i fallet med äldre militära GPS-mottagare som först var tvungen att använda C/A-koden innan P(Y)-koden kunde användas. Moderna militära mottagare kan direkt använda P(Y)-koden (direct acquisition of P(Y)). De militära signalerna, P(Y) och M-code, kommer att ligga på både L1- och L2-banden.

Från och med satellitversion block IIF planeras möjligheten att från satelliterna kunna sända högre uteffekt mot ett operationsområde. Detta kommer att minska effekten, d v s området som en störsändare kan blockera, av störning.

För att kunna använda NAVWAR konceptet fullt ut, krävs förutom den moderniserade satellitparken även modernisering av mark- (övervakning, kontroll) och framförallt användarsegmentet (mottagare).

Den första satelliten med L2C-kod på L2 och M-kod på L1 och L2 sköts upp 2005-09-26 och den 2006-11-28 finns det 3 stycken block IIR-M satelliter

uppe. Först 2012 beräknas M-code vara fullt operativ (FOC), dvs minst 24 satelliter.

1.4.2 GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)

GLONASS fungerar efter liknande principer som GPS och har samma minimikrav på ett fullt utbyggt system (21 satelliter + 3 aktiva i reserv). Signalstrukturen är dock helt annorlunda.

Tekniska data

Signaldata: Satelliterna sänder inom två frekvenband L1 (1602 + $n \cdot 0.5625$ MHz) respektive L2 (1246 + $n \cdot 0.4375$ MHz). Varje satellit har tilldelats egna frekvenser med frekvensavstånd 0.5625 respektive 0.4375 MHz i respektive band. Bärvågen är överlagrad med dels navigationsmeddelandet, dels två "spread spectrum"-koder: C/A respektive P med 0.511 respektive 5.110 MHz bithastighet. Dessa koder är gemensamma för samtliga satelliter. Navigationsmeddelandet sänds med 50 bit/s och är uppdelat i 5 segment om vardera 30 sek, dvs. med totala "framelängden" 2,5 min. Frekvenserna för L1 har successivt flyttats enligt följande tidplan:

- fram till 2005: tilläts bärvågsfrekvenser endast mellan 1602 och 1609,25 MHz
- efter 2005 används bärvågsfrekvenser mellan 1598.0625 och 1605.3750 MHz. Använda kanalnummer -7 till +6 med steglängden 0.511 MHz.

Drift av systemet med denna reduktion av antalet frekvenser har utförts genom att antipodiska satelliter sänder på samma frekvens.

En ny civil kod på L2 införs på de moderniserade s.k. GLONASS-M-satelliterna.

Noggrannhet: Det finns två typer av tjänster, SP (Standard Precision Navigation Signal) och HP (High Precision Navigation Signal). SP är tillgänglig för alla användare och den

	specificerade noggrannheten (95 %) är 57-70 meter i plan, 70 meter i höjd och 1 mikrosekund i tidsöverföringen. Endast C/A-koden är tillgänglig för civila användare. P-koden är avsedd för militära tillämpningar.
Räckvidd:	Global räckvidd oberoende av årstid, väderlek och tid på dygnet.
Tillgänglighet:	GLONASS blev fullt utbyggt i början av 1996 och 21 + 3 satelliter var operativa med global täckning och med hög sannolikhet för att åtminstone 21 satelliter var i funktion samtidigt. Livslängden för dessa äldre satelliter var kort, i vanligen endast 2-3 år. Detta, i kombination med begränsad ekonomi för nya uppsändningar, gjorde att antalet användbara satelliter successivt minskade. I september 2003 fanns endast sju operationella satelliter, men antalet har ökat till omkring tolv de senaste åren. De tre senaste satelliterna sköts upp den 25 december 2005.

Systembeskrivning

Liksom GPS är GLONASS i första hand ett militärt system och formellt står ryska försvarsministeriet (Russian Ministry of Defence) som brukare och ägare medan ansvaret för drift och underhåll ligger hos Federal Space Agency (Roskosmos). I övrigt ligger all övervakning och kontroll huvudsakligen lokaliserad till ryskkontrollerat område. Utveckling av civila tillämpningar sker i samarbete med transportministeriet (Russian Ministry of Transportation).

Den största skillnaden gentemot GPS ligger i att satelliterna sänder på separata frekvenser, där två antipodiska satelliter delar frekvens, inom respektive L1- och L2-bandet (med ett frekvenssteg på ca 0.5 MHz mellan frekvenserna) medan den använda C/A- respektive P-koden är gemensam för samtliga GLONASS-satelliter. Samtidigt är pulslängden i utsända "ettor" och "nollor" dubbelt så lång som i GPS, vilket ger 50% mindre bandbredd i signalpaketet.

Satelliterna i GLONASS går i nära cirkulära banor på 19100 km höjd och med uppdelning i tre banplan med åtta satelliter i varje. Omloppstiden är 11 timmar och ca 15 minuter. Lutningsvinkeln (inklinationen) mot ekvatorn är 64.8 grader jämfört med 55 grader för GPS, vilket medför att GLONASS får bättre täckning och geometri på nordliga breddgrader (bl.a. i Norden) än GPS.

P-koden i GLONASS är dock liksom i GPS avsedd för främst militära tillämpningar. Idag är P-koden okrypterad och därför även tillgänglig för civila användare.

På marknaden finns idag ett flertal mottagarfabrikat, som kan utnyttja både GPS och GLONASS parallellt. Tillgången på rena GLONASS-mottagare är låg såväl inom som utanför Ryssland bl.a. beroende på att systemet inte har varit fullt operationellt någon längre tid.

Positioner i GLONASS baseras på det ryska referenssystemet PZ – 90, vilket avviker med max ca 15 m från det i GPS använda referenssystemet WGS 84. Baserat på en internationell kampanj där man samkört GPS och GLONASS på många olika platser över hela jordytan har en för officiellt internationellt bruk godkänd transformationsmodell framtagits, som ger ett transformationsfel på endast någon meter. Tidsreferensen baseras på UTC(SU) eller UTC(”Moskva”), som skiljer sig något från internationell UTC. BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) publicerar varje månad information om skillnaden mellan bl.a. UTC och UTC(SU) och dessutom en uppskattning av skillnaden mellan UTC och GLONASS-tid. GLONASS-tid styrs mot UTC(SU) ungefär på samma sätt som GPS-tid styrs mot UTC (USNO).

Lägesbeskrivning/användare

Antalet användare av GLONASS är för närvarande relativt litet p.g.a. instabiliteten i systemet, men ökar kontinuerligt i Sverige i och med återuppbyggnaden.

Utvecklingstendenser

Trots politiska, ekonomiska och militära problem uppges den ryska regeringen vara fast besluten att bibehålla GLONASS och garantera den civila delens tillgänglighet för internationellt bruk. Man har deklarerat att GLONASS åter ska bestå av 18 satelliter år 2008 och 24 satelliter 2010-11. En indikation på att GLONASS anses vara en viktig del av infrastrukturen är att Ryssland har två federala rymdprogram, där det ena är GLONASS och det andra omfattar alla övriga rymdoperationer.

Ryssland deltar löpande i det internationella arbetet inom ramen för bl.a. de stora internationella organisationerna ICAO och IMO. Man söker där få GLONASS accepterat som internationell standard parallellt med GPS. Det

ryska systemet har därvid antagits som en viktig delkomponent i det europeiska stödsystemet EGNOS. I slutet av 2004 skrevs en gemensam överenskommelse om kompatibilitet mellan GPS och GLONASS.

GLONASS bedöms komma att tills vidare kvarstå som ett i grunden militärt system men i delar öppet med garanti för civilt, internationellt bruk. Nästa generations satelliter kallas GLONASS-M och beräknas ha en fördubblad livslängd (7 år). Den första satelliten sändes upp 2003. GLONASS-M har en civil signal på L2 förutom de tidigare signalerna. Totalt ska 11 GLONASS-M-satelliter sändas upp innan nästa generation, GLONASS-K, ska börja etableras. Det planeras ske 2008 med en livslängd för satelliterna på ca 10 år. De ska även göras betydligt mindre, < 500 kg, så att 6-8 satelliter ska kunna sändas upp åt gången, jämfört med tre idag. En tredje civil frekvens kommer att introduceras med GLONASS-K, liksom en sök- och räddningstjänst. Satelliterna ska kunna kommunicera med varandra.

Målet är att från 2008 nå samma prestanda som GPS-systemet. De problem man idag har med GLONASS-systemets prestanda beror bl.a. på de begränsade övervakningsmöjligheterna eftersom alla stationer ligger inom f.d. sovjetiskt territorium. Detta ger sämre möjlighet att bestämma satellitbanorna, vilket försämrar systemets prestanda. Man planerar därför att etablera markstationer även utanför det forna Sovjetunionen.

1.4.3 GALILEO

GALILEO är ett kommande europeiskt satellitnavigeringssystem med global täckning, som är inne i en utvecklings- och valideringsfas, vilken ska avslutas 2009. En första provsatellit sändes upp i december 2005. Förhandlingar pågår med ett privat konsortium som avses få koncession att driva systemet under 20 år. En ny europeisk myndighet, GNSS Supervisory Authority (GSA), är 2006 under uppbyggnad, vilken ska förvalta och vidareutveckla de europeiska satellitbaserade navigationssystemen EGNOS och GALILEO.

Tekniska data

Tjänster GALILEO ska tillhandahålla fem navigationstjänster:

- *Öppen tjänst* utan direkta användaravgifter
- *Kommersiell tjänst* på abonnemangsbas, som ger högre noggrannhet, snabbare positionering och kanske navigations-

relaterade tilläggsdata

- *Säker tjänst* (Safety of Life) = Öppen tjänst + integritetsinformation + autentisering, avsedd för bl.a. civilflyget
- *PRS* (Public Regulated Service), statligt åtkomstkontrollerad, extra robust tjänst för t.ex. polis och räddningsorgan
- *Sök & räddningstjänst* (SAR), som avsevärt utökar täckning och tillgänglighet för det befintliga COSPAS/SARSAT-systemet, och med returlänk för information till nödställda.

Tjänsternas specificerade prestanda mellan 75° nordlig och sydlig bredd vid 10° maskvinkel med 2-frekvensmottagare:

		Öppen	Säker	PRS
Täckning		Global	Global	Global
Noggrannhet (95 %)	Horisontell	4 m	4 m	6,5 m
	Vertikal	8 m	8 m	12 m
Integritet	Larmgräns	-	Hor 12 m Ver 20 m	Hor 20 m Ver 35 m
	Tid till larm	-	6 sek	10 s
	Integritetsrisk	-	$3,5 \times 10^{-7}/150s$	$3,5 \times 10^{-7}/150 s$
Kontinuitetsrisk			$10^{-5}/15s$	$10^{-5}/15 s$
Tidsnoggrannhet m.a.p UTC/TAI		30 ns ¹⁾		100 ns
Tillgänglighet	Noggrannhet	99,8 %	99,8 %	Inga data
	Integritet	-	99,5 %	99,5 %
Certifiering		-	Ja	-

¹⁾ Med 3-frekvensmottagare

Prestanda för den kommersiella tjänsten avgörs till viss del av systemoperatören.

Prestanda väntas bli klart bättre än specifikationen. Den öppna tjänsten beräknas ge cirka 1 m noggrannhet, den kommersiella neråt 1 dm.

Sök & räddningstjänsten ska uppfylla de krav och regler som uppställts av IMO beträffande uppfångning av signaler från EPIRB-nödsändare och av ICAO för ELT-nödsändare. Varje satellit ska i bandet 406–406,1 MHz kunna uppfånga och förmedla signaler från 150 samtidigt aktiva nödsändare till SAR-markstationer (nerlänk 1544-1545 MHz). Lokalisering av nödställda ska ske inom 10 minuter från nödanrop. GALILEO-systemets öppna tjänst ska

även medge utsändning av 6 meddelanden per minut på vardera 100 bitar till nödsändarna. Detta ska underlätta räddningsoperationerna och bidra till att detektera falsklarm. SAR-tjänstens tillgänglighet ska vara minst 99,8%.

(Kompletterande information finns i avsnitt COSPAS/SARSAT.)

Signaler: Varje satellit ska kontinuerligt sända tio signaler inom de tre frekvensområdena

- E5a/E5b (1164-1214 MHz)
- E6 (1260-1300 MHz)
- E2-L1-E1 (1559-1591 MHz)

Signalerna utformas med stor hänsyn till att man med samma mottagare samtidigt ska kunna utnyttja både GALILEO och GPS. Ett avtal om att bl a eftersträva sådan interoperabilitet ingicks 2004 mellan EU och USA.

Signalernas egenskaper och fördelning på tjänster (bortsett från SAR-tjänsten):

Signal-id	Band	Center-frekvens	Tjänster	Signal	Signaltyp	Modulation	Chiprate	Kodkryptering	Datatakt	Data-kryptering
1	E5A ¹⁾	1176,450 MHz	Öppen	E5A-d	Data	BPSK(10)	10.23 Mcps	Nej	50 sps	Nej
2				E5A-p	Pilotsignal	BPSK(10)	10.23 Mcps	Nej	Inga data	Inga data
3	E5B ¹⁾	1207,140 MHz	Öppen + Säker	E5B-d	Data ²⁾	BPSK(10)	10.23 Mcps	Nej	250 sps	Nej
4				E5B-p	Pilotsignal	BPSK(10)	10.23 Mcps	Nej	Inga data	Inga data
5	E6	1278,750 MHz	PRS	E6P	Bandspridd	BOC(15,2.5)	³⁾	Ja – med statlig åtkomstkontroll	³⁾	Ja
6			Kommersiell	E6C-d	Kommersiella data	BPSK(5)	5.115 Mcps	Ja – kommersiell	1000 sps	Ja
7				E6C-p	Pilotsignal	BPSK(5)	5.115 Mcps	Ja – kommersiell	Inga data	Inga data
8	E2-L1-E1	1575,420 MHz	PRS	L1P	Bandspridd	BOC(15,2.5)	³⁾	Ja – med statlig åtkomstkontroll	³⁾	Ja
9			Öppen + Säker	L1F-d	Data ²⁾	BOC(1,1)	1.023 Mcps	Nej	250 sps	Nej
10				L1F-p	Pilotsignal	BOC(1,1)	2 Mcps	Nej	Inga data	Inga data

¹⁾ En gemensam E5-signal kan sändas med AltBOC(15,10), centerfrekvens 1191,795 MHz

²⁾ Signal 3 och 9 ska bl.a. användas för SAR-meddelanden och integritet

³⁾ Ej publicerade uppgifter

Alla GALILEO-satelliter använder samma frekvenser med CDMA-teknik (Code Division Multiple Access).

Systembeskrivning

Den globala infrastrukturen ska innehålla 27 satelliter, jämnt fördelade i 3 banplan (56° inklinat, banhöjd 23 222 km) samt 3 aktiva reservsatelliter. De ska styras från två ömsesidigt utbytbara kontrollcentraler via 5 TT&C-stationer, 9 upplänkstationer för navigationsdelen, samt ett 40-tal övervakningsmottagare över hela jorden för bl a integritetsfunktionen.

Teknik för lokala stödsystem utvecklas i anslutning till projektet. De kan etableras där täckning och/eller prestanda behöver förbättras, t ex inomhus.

GSA ska förvalta såväl EGNOS som GALILEO, dock drivna som tekniskt åtskilda system.

Externa GALILEO-komponenter kan komma att etableras av länder som själva vill generera och sända ut regional integritetsinformation.

GALILEO får koordinat- och tidsreferenser som är oberoende av GPS för att undanröja risken för gemensamma felkällor. Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF) blir en oberoende realisering av det internationella ITRS. GPS använder WGS84, som i praktiken också är en ITRS-realisering. Skillnaden väntas bli några få cm, alltså av betydelse endast i geodetiska sammanhang. Transformationsparametrar kommer att finnas mellan referensramarna.

Systemtiden i GALILEO ska kontinuerligt styras mot den internationella atomtiden (TAI) med en avvikelse på högst 33 ns, som ska sändas ut med navigationssignalerna. Den kan även beräknas av mottagaren med mycket hög noggrannhet. Avsikten är att även sända ut differensen mot GPS-tiden för att understödja sam användning av systemen.

Lägesbeskrivning

GALILEO är ett gemensamt initiativ av EU och ESA, vilka tillsammans finansierar systemutvecklingen samt validering av ett provsystem med ca 4 satelliter. Ett särskilt samägt företag i Bryssel, Galileo Joint Undertaking (GJU), har haft huvudansvaret för projektet från den 1 september 2003. Detta företag ska avvecklas under 2006 och dess uppgifter övertas av GSA.

Den pågående utvecklings- och valideringsfasen innehåller uppsändning av ytterligare en provsatellit, samt fyra satelliter för slutlig validering av systemkonceptet. Dessa ska sändas upp under 2008, och ska 2009-2010 åtföljas av resterande 26 satelliter, att upphandlas och driftsättas av den utsedda systemoperatören.

1.4.4 COSPAS/SARSAT

Tekniska data

Signaldata:	För nödsändare finns det två typer av alarmeringssystem, ett som sänder på 121,5 och/eller 243,0 MHz (militär nödfrekvens) och ett som sänder på 406 MHz. För 121,5/243 MHz systemet är signalen en tonmodulerad AM-signal utan någon form av identifikation. På 406 MHz används en digital modulationsteknik med information om identitet, position m.m.
Noggrannhet:	Bättre än 20 km för 121,5 och 243,0 MHz. Bättre än 2 km för 406 MHz. Typiska positioneringar är betydligt noggrannare.
Räckvidd:	406 MHz, hela jorden. 121,5 + 243,0 MHz, 60% av jordytan, se figur nr 6.
Tillgänglighet:	Hela dygnet. Systemet bygger på minst två COSPAS- och två SARSAT-element. F.n. finns 10 satelliter i bruk. Maximalt 1,5 h väntetid innan en satellit passerar över en nödsändare. Längst tid vid ekvatorn, kortast vid polerna.

Systembeskrivning

COSPAS/SARSAT är ett satellitbaserat sök- och pejlsystem för lokalisering av nödställda över hela jorden. COSPAS/SARSAT är resultatet av ett samarbete mellan Sovjet (COSPAS) och Frankrike, USA och Kanada (SARSAT).

Detta innebär att man använder två kompatibla satellitsystem och kan få en regelbunden återkommande bevakning över hela världen.

Systemets satelliter går i polära banor (Low Earth Orbit, LEO) på en höjd av 800 till 1000 km, vilket ger en omloppstid av knappt två timmar. COSPAS/SARSAT är enheter ombord på satelliter av typ Nadezhda (RU), POES (Tiros), GOES och NOAA-K (USA). Satelliterna monitorerar både nödfrekvenserna 121,5 och 243 MHz och nödfrekvensen 406 MHz.

Nödsändare benämns EPIRB (Emergency Position Indicating Radio Beacon) inom sjöfarten och ELT (Emergency Locator Transmitter) inom luftfarten och PLB (Personal Locator Beacon) för personliga nödsändare.

Positionsbestämningen görs med dopplerskift då satelliten passerar över den

nödställde. För nödsignaler på 121,5 och 243 MHz återutsänder satelliterna signaldata i realtid till Local User Terminal (LUT) - det finns 44 sådana strategiskt placerade runt jorden i 27 länder - och här beräknas då nödsändarens position. Om ingen LUT finns inom satellitens räckvidd går informationen förlorad (se figur nr 6). Geostationära satelliter kan komma att lösa detta problem, se nedan.

För nödsändare på 406 MHz sparas signaldata ombord tills satelliten är inom räckhåll för en LUT.

Informationen vidarebefordras till ansvarig SAR-myndighet (SAR = Search And Rescue) för det område där den nödställde befinner sig. Någon överföring av positionsdata till användaren (dvs. den nödställde) sker inte.

EPIRB, ELT och PLB kan vara försedd med GPS som ger positionen direkt via de geostationära och LEO-satelliterna. Larm med position går direkt till LUT utan tidsfördröjning.

Lägesbeskrivning/användare

Det finns runt 600 000 nödsändare som arbetar på 121,5 MHz och minst 390 000 i slutet av 2004, som använder 406 MHz. 29 länder, däribland Sverige, deltar i COSPAS/ SARSAT-programmet.

Utvecklingstendenser

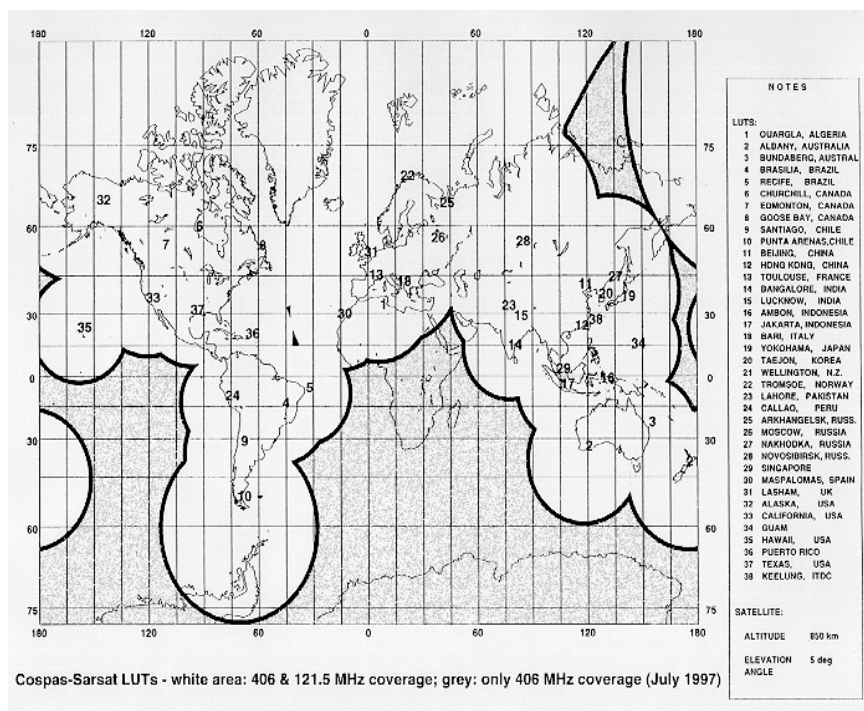
COSPAS/SARSAT stänger 121,5 MHz som larmkanal 2009. Detta beror på att de som använder 121,5 MHz inte sänder någon identifieringssignal. 121,5 MHz används för lokalisering från SAR-enheter. För larm skall endast 406 MHz användas fortsättningsvis..

Sändarna på 406 MHz sänder en unik användaridentitet, som också kan innehålla position och som uppdateras kontinuerligt.

Sedan 1998 har geostationära satelliter (NOAA ODES) börjat användas. Dessa satelliter kan bl.a. reläa nödsignaler från de polära satelliter som är utom räckhåll för någon LUT.

Ett nytt system med geostationära kombinerade med MEO satelliter gör att positionsbestämning kan utföras genom vinkel mätning genom ett antal satelliter. Genom att kalkylera tidsåtgången mellan nödsändaren och

satelliterna kan positionen beräknas. Det tar ca 1 sekund att fastställa positionen. GALILEO, GPS och GLONASS planeras medverka i systemet.



Figur nr 6. Vitt område: Täckning för nödsändare på 121,5 + 243 MHz

1.4.5 ARGOS

Tekniska data

Signaldata:	Frekvensband	Upplänk 401,65 MHz
	Modulation	PSK, fasskiftsnyckling
	Argod-1 (NOAA-D[3banvarv/d], J)	
	Bandbredd	24 kHz
	Datalänk	400 bps
	Argos-2 (NOAA-K, L,M,N)	
	Bandbredd	80kHz
	Datalänk	400 bps
	Argos-3 (Metop-A,...)	
	Bandbredd	110 kHz
	Datalänk	400 bps & 4800 bps

Noggrannhet:	Klass 1, 350-1000 m Klass 2, 150-350 m Klass 3, <150 m
Räckvidd:	Global täckning, i ett visst ögonblick ca 30% av jordytan (maj-2006). Varje satellit täcker en cirkel med ca 5000 km diameter
Tillgänglighet:	Beror på sändarens latitud och antalet aktiva satelliter, bäst vid polerna (80 passager per dygn med 6 satelliter), sämst vid ekvatorn (20 passager).

Systembeskrivning

ARGOS (Advanced Research and Geographic Observation Satellite) är ett globalt system för lokalisering av och datainsamling från autonoma användarterminaler (PTT, Platform Transmitter Terminal) til havs, på land eller i luften. Det drivs av företaget CLS Argos, ägt av NOAA, NASA och CNES, med huvudcentral i Toulouse i Frankrike. Täckningen är global och systemet använder utrustning ombord på satelliter i polära banor (f.n. NOAA-D, J, K, L, M och N). Systemet använder frekvensbandet 401-402 MHz, som är reserverat för bl.a. jordobservation och meteorologi via satellit.

Positionsbestämningen baseras på dopplerskift. Satelliten tar under en passage mot upprepade meddelanden från terminalen och gör varje gång en noggrann bestämning av mottagen frekvens. Meddelanden och frekvenser överförs vida en markstation till en central där positionen beräknas. Normalt utnyttjas data från 3 eller fler satelliter. Användarselektade data distribueras via olika nätverk. Det blir med ARGOS-3 även möjligt att sända kommandon, positionsuppgifter och andra data till terminalerna direkt via Argos-satelliterna.

Minst två transmissioner krävs under en satellitpassage för att positionen ska kunna beräknas, men noggrannheten förbättras normalt ju fler meddelanden satelliten hinner ta. Varje meddelande är kortare än en sekund och en genomsnittlig passage varar ca 10 minuter. Repetitionsfrekvensen ligger typiskt mellan 20 och 200 sekunder och måste avvägas mot tillgänglig batterikapacitet. Satelliternas banddata kalibreras regelbundet med sändningar från fasta referensstationer. I applikationer där större noggrannhet krävs kan positionsdata tas från en GPS-mottagare kopplad till användarterminalen.

Lägesbeskrivning/användare

I maj 2006 var sex satelliter med fungerande ARGOS-instrument i drift, två ARGOS-1 och fyra ARGOS-2.

Användare är såväl statliga organ som kommersiella företag med anknytning till miljöstudier, forskning och skydd. Applikationer finns inom oceanografi, meteorologi, biologi, hydrologi, glaciologi~sjöfart, offshore, etc.

2006 finns cirka 16000 terminalplattformar, bl.a. hydrologiska forskningsbojar, djur, containrar, fartyg och fordon. PTT:er tillverkas ned till miniatyrstorlek med en vikt av några gram och en batterilivslängd på upp till ett år för användning på t.ex. fåglar.

Utvecklingstendenser

Den tredje generationen instrument (ARGOS-3, även kallat A-DCS, Advanced Data Collection System) planeras börja driftsättas hösten 2006, det första på Eumetsat-satelliten Metop-A. ARGOS-3 ska möjliggöra tvåvägskommunikation med PTT:erna som på så sätt kan utföra mer avancerade mätningar. De nya ARGOS-instrumenten får också större bandbredd ($> 110\text{kHz}$) och mer signalbehandlingskapacitet.

1.5 STÖDSYSTEM TILL GNSS

I många fall uppfyller inte GNSS (idag främst GPS) ensamt kraven för navigering och positionering. För att uppfylla kraven används stödsystem som bygger på differentiell GPS och ibland utsändning av integritetsinformation. Det finns stödsystem för olika användningsområden. Oftast tillkommer ett abonnemang och en radiomottagare för att ta emot korrektionerna om man vill mäta i realtid. Grunden i stödsystemen är fasta referensstationer som kontinuerligt mäter mot GPS-satelliterna (i vissa fall även GLONASS). Det finns stödsystem för både kod- och bärvågsmätning och data kan distribueras både i realtid och för efterberäkning.

I den enklaste formen av stödsystem används varje referensstation var och en för sig. Data från varje station distribueras i dess täckningsområde. Mer avancerade stödsystem använder sig av s.k. ”nätverkslösningar”, som modellerar de olika felkällorna (framför allt atmosfärsfelen) ur data från ett antal stationer. Nätverkslösningar innebär att avstånden mellan referensstationerna kan ökas med bibehållen noggrannhet. Trenden för stödsystem går mot nätverkslösningar.

För internationell täckning använder en del stödsystem geostationära satelliter för att distribuera korrektioner i realtid. Dessa satelliter kan användas även för själva positionsbestämningen, dvs. ingår som extra satelliter i det ordinarie GPS (eller GLONASS)-systemet. Datadistribution via satellit används i flertalet internationella realtidstjänster. Geostationära satelliter ligger i ekvatorsplanet och har en elevationsvinkel som understiger 15 grader norr om polcirkeln. Detta innebär dålig täckning vid framför allt landtillämpningar i norra Sverige.

Det finns lokala, nationella och internationella stödsystem. Nedan beskrivs närmare de i Sverige befintliga privat- och statsfinansierade lokala respektive nationella systemen och tjänsterna samt de vanligast använda internationella stödsystemen.

En lite mer unik metod för överföring av differentiella GNSS-korrektioner är den som kallas för EUROFIX. Metoden innebär att korrektionerna överförs som överlagrad modulation på den ordinarie signalen i de markbaserade systemen Loran-C och Chayka.

Som avslutning på detta avsnitt om stödsystem berörs tekniken för s.k. ”Assisted GPS”, ofta förkortat AGPS, samt ”Pseudoliter”. AGPS är en metod för att möjliggöra mottagning av GPS-signaler inom områden där systemet normalt inte är användbart, t.ex. inom byggnader, medan s.k. pseudoliter används för överföring av differentiella korrektioner samtidigt som signalerna själva kan användas för positionsbestämning. Pseudoliter kan alltså betraktas som markbaserade extrasatelliter i det aktuella satellitnavigeringssystemet. Bruk av pseudoliter är av stor betydelse för funktionen speciellt i system som t.ex. GRAS.

1.5.1 Lokala system

1.5.1.1 GRAS

GRAS är en akronym för GNSS Regional Augmentation System, och är egentligen ett samlingsnamn för de markbaserade stödsystemen för GNSS. Principen är att en eller flera markstationer samlar in satellitdata och man kan därigenom beräkna korrektionsinformation och även prestandainformation som sedan kan sändas från marken till flygplan med hjälp av datalänk, t.ex. VDL Mode 4. Markstationerna kan även vara pseudoliter. GRAS är ett s.k. LAAS, Local Area Augmentation System, till skillnad från WAAS, se detta avsnitt. Räckvidden är mindre än med WAAS, men man kan uppnå högre noggrannhet. Se även avsnittet om pseudoliter.

1.5.2 Nationella system

1.5.2.1 SWEPOS[®]

Systembeskrivning

SWEPOS är ett nät av fasta referensstationer som täcker Sverige. SWEPOS drivs och utvecklas av Lantmäteriet. Se figur nr. 7.

Nätverks-RTK-data tillhandahålls direkt till användare via GSM eller GPRS/Internet. För närvarande (december 2006) har SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst täckning i södra Sverige, ungefär söder om linjen Söderhamn–Sveg–norska gränsen samt i Västerbottens och Norrbottens kustland. DGPS-korrektioner från SWEPOS kan erhållas främst via EPOS-tjänsten eller SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst.

Data för efterberäkning finns tillgängliga i dataformatet RINEX via WWW/FTP-server. Filerna innehåller observationsdata för en timme eller ett helt dygn. Data är tillgängliga senast femton minuter efter att timmen är avslutad. För att få tillgång till data krävs ett abonnemang. Beroende på bl.a. observationstid och typ av mottagare kan en noggrannhet ner till 1,5 cm i plan uppnås vid efterberäkning mot SWEPOS-stationer.

För den som inte själv vill efterberäkna sina statistiskt mätta tvåfrekvens (L1/L2) GPS-data mot data från SWEPOS-stationerna finns SWEPOS beräkningstjänst. Genom att skicka data via SWEPOS hemsida så beräknas dessa automatiskt. Koordinater samt kvalitetsinformation levereras tillbaka via e-post. Resultat samt status för aktuellt jobb kan även ses via SWEPOS hemsida.

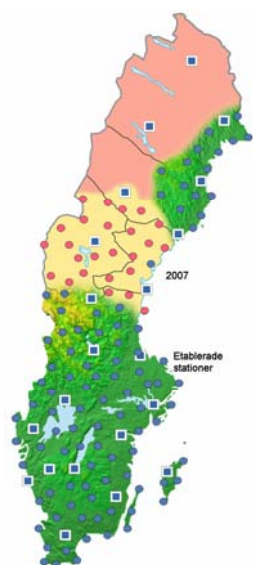
Förutom att tillhandahålla data för en rad olika tillämpningar realiserar SWEPOS det nationella referenssystemet, SWREF 99, vilket är en svensk realisering av det europeiska systemet ETRS 89 (EUREF 89).

Lägesbeskrivning/användare

Data från SWEPOS används både för efterberäkning och i realtid, främst för landtillämpningar men även till sjöss i kustnära områden.

Utvecklingstendenser

Vidareutveckling av SWEPOS pågår. Visionen är att fullfölja etableringen av en nationell positioneringstjänst som ger centimeternoggrannhet (RTK-tjänst) och som täcker de befolkningstäta delarna av Sverige (hela Sverige så när som på de nordvästra fjälltrakterna), inom de närmaste två-tre åren. Tjänsten bygger på s.k. nätverks-RTK där man binder ihop flera referensstationer i ett datornätverk och beräknar en modell över felkällornas inverkan i området som stationerna täcker. Modellen används för att i realtid korrigera mätdata som insamlas i området. Uppbyggnaden av denna positioneringstjänst som ger centimeternoggrannhet har gjorts genom ett antal produktionsprojekt i Stockholmsområdet samt södra och västra Götaland, samt etableringsprojekt i östra Götaland, Värmland/Dalarna och Norr- och Västerbottens kustland. I dessa områden har SWEPOS förtätats. Avståndet mellan referensstationerna i dessa områden är ca 70 km. Även den fortsatta etableringen av nätverks-RTK i Västernorrlands och Jämtlands län planeras ske genom s.k. etableringsprojekt för att etablera god kontakt med användarna av tjänsten.



Figur nr 7. Placering av SWEPOS referensstationer. Fyrkanterna symboliserar deursprungliga 21 stationerna som bl.a. realiserar SWEREF 99. Blå prickar är s.k. för-
enklade SWEPOS-stationer som redan etablerats. Röda prickar är planerad utbyggnad av SWEPOS.

1.5.2.2 DGPS/IALA

Tekniska data

Signaldata:	Frekvensband 283,5 – 315 kHz, GMSK-modulering med överföringshastighet 100 b/s och enligt ITU-R Recommendation M.823.
Noggrannhet:	Tillsammans med GPS-mottagare av god kvalitet uppnås noggrannhet ner till ca 1 m. Larmgränsen är satt till 8 m.
Räckvidd:	Ca 200 M över vatten.
Tillgänglighet:	I täckningsområdet uppnås i huvudsak en signaltillgänglighet >99,8 % inräknat signaler från sändare i grannländer.

Systembeskrivning

DGPS enligt den av IALA (International Association of Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) utarbetade metoden bygger delvis på ett utnyttjande av tidigare rundstrålande radiofyrar och deras frekvensband. Vid stationerna beräknas differentiella korrektioner för GPS satelliter och dessa

distribueras i format enligt RTCM SC-104 Recommended Standards, Version 2.1. Meddelande typerna 9 (High Rate Differential GPS Corrections), 3 (Reference station parameters), 6 (Null frame), 7 (Beacon Almanac) sänds från 10 stationer som ägs och drivs av Sjöfartsverket. I meddelande typ 9 sänds korrektioner för maximalt 9, för vissa stationer maximalt 12, satelliter med elevation större än 7 grader. I meddelandet ingår integritetsinformation med larm om felet överstiger 8 m mer än 10 sekunder. Korrektionerna tas emot av en (vanligen) separat mottagare och överförs till den mobila GPS mottagaren där de appliceras på de beräknade pseudoavstånden som ligger till grund för positionsbestämningen. Korrektionerna kompenserar för fel som är gemensamma för referensmottagaren och den mobila mottagaren (banfel, klockfel, atmosfärs- och jonosfärsfel etc.).

Lägesbeskrivning/användare

Systemet har fått en stor internationell spridning och finns fullt interoperabelt tillgängligt i de flesta kustnära områden med betydande sjötrafik. Systemet utgör det primära navigationssystemet för en stor del av handelsjöfarten. Stationer och täckning i Sverige och svenskt närområde framgår av figur nr 8.

Systemets betydelse har i någon mån minskat i och med borttagandet av ”Selective Availability”-störningen, men har fortsatt stor användning både för att förbättra noggrannheten och för integritetsinformationen.

Utvecklingstendenser

Utbyggnad och förbättringar av systemet pågår i vissa områden men i huvudsak är uppbyggnaden klar. I Sverige studeras möjligheten att genom etablerandet av en ny station uppnå dubbeltäckning i Väneren.

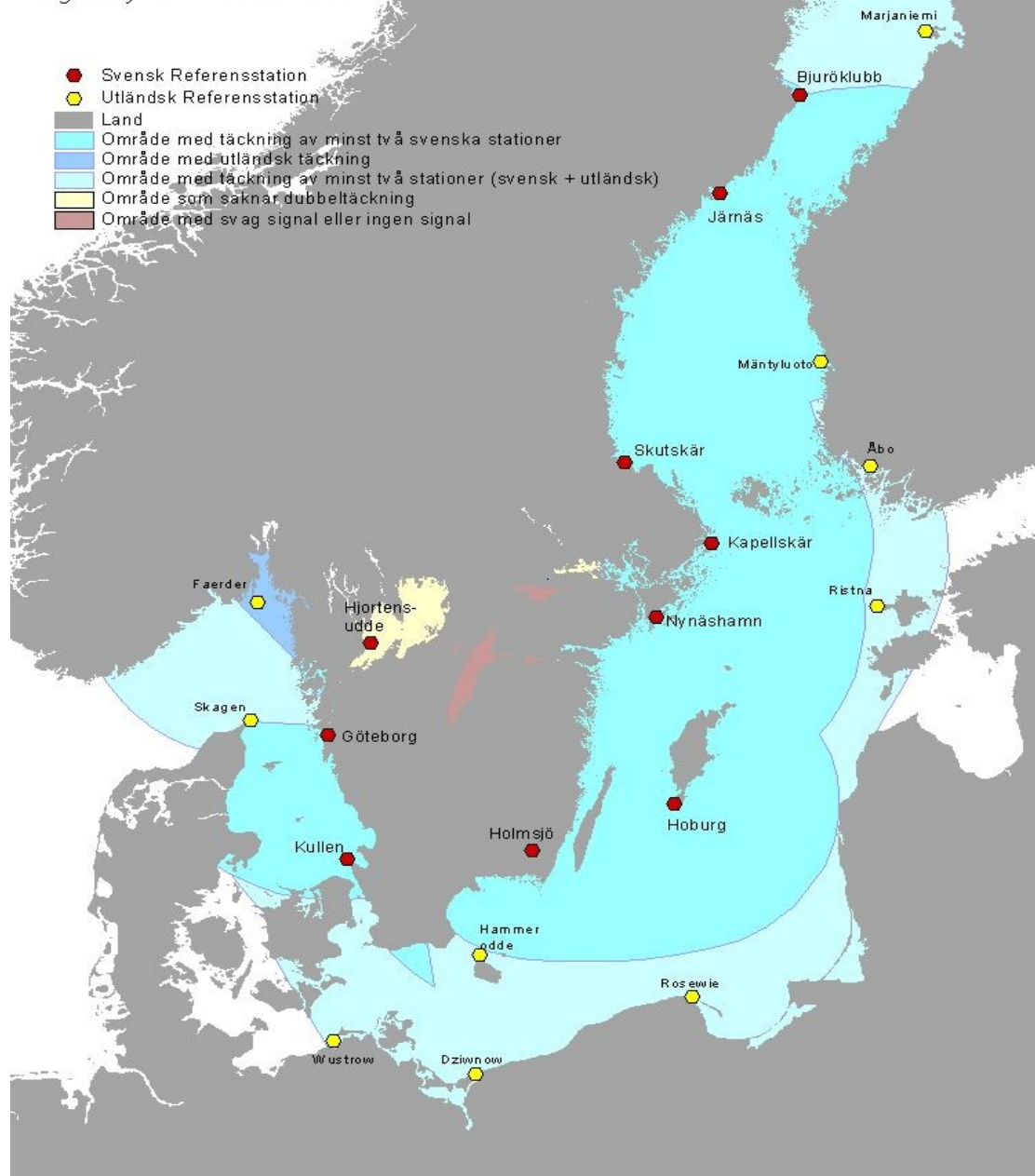
Med ett framtida förbättrat GPS och det nya GALILEO, som ger god noggrannhet och integritetsinformation direkt från satellitsystemen kommer systemets betydelse att minska.

Efter avstängningen av SA-degraderingen kan kravet på uppdaterings-hastigheten för korrektionerna sänkas och kravet på ”Time to alarm” har blivit styrande. Ett nytt meddelande för integritetsinformationen utvecklas därför och med dess introduktion kommer en viss kapacitet i dataöverföringen att kunna utnyttjas för annan information. Diskussion pågår för närvarande bl.a. inom IALA om hur denna kapacitet bäst skall utnyttjas.

Sjöfartsverkets Referensstationsnät IALA/DGPS

Resultat av mätningar år 2002.

Signalstyrka: ≥ 34 dB mikroVolt



Figur nr 8.

1.5.2.3 LuLIS

LuLIS är ett system som ägs och drivs av Försvarsmakten. LuLIS syfte är i första hand att distribuera luftlägesinformation bl.a. för att förhindra vådabekämpning av egna luftfarkoster och flyglarm. I LuLIS-nätet finns installerade GPS-referensmottagare. Primärt används dessa för tidssynkronisering, sekundärt för distribution av differentiella GPS-korrekationer enligt RTCM-104 ver 2.1. Utsändning sker via DARC-kanalen i FM/P2-nätet med rikstäckning. Korrektionerna tas emot i speciella mottagarenheter som även har inbyggda GPS-mottagare.

1.5.2.4 EPOS

Tekniska data

Signaldata:	DGPS-korrektioner i RTCM SC-104 version 2.1 via FM-nätet på RDS-kanalen på P4. Informationen skickas i frekvensområdet 85 - 105 MHz.
Noggrannhet:	Tjänsten kan ge en noggrannhet på 1-2 m.
Räckvidd:	Tjänsten fungerar i de områden där man kan lyssna på P4 i stereo, vilket är stora delar av Sveriges inland. Räckvidden påverkas av topografin.
Tillgänglighet:	I täckningsområdet uppnås en signaltillgänglighet på nära 100 %.

Systembeskrivning

EPOS är en nationellt täckande DGPS-tjänst som drivs av Cartesia Informationsteknik AB. DGPS-korrektionerna i RTCM SC-104 v 2.1 kommer från SWEPOS, där de först har kontrollerats på driftledningscentralen innan de skickats vidare till Kaknästornet. Därifrån skickas korrektionerna för respektive område vidare till representativa FM-sändare. Korrektionerna sänds på RDS-kanalen P4. På ett antal SWEPOS-stationer tas data från EPOS-tjänsten emot och skickas tillbaka till SWEPOS driftledningscentral för övervakning av tjänsten. Informationen skickas i RTCM-meddelande typ 1 (Differential GPS Corrections) och 3 (GPS Reference station parameters). För att använda EPOS behövs förutom GPS-mottagaren en EPOS-mottagare med antenn samt ett abonnemang.

Lägesbeskrivning/användare

Tjänsten används inom en rad olika områden, främst på land men även inom sjöfarten i kustnära områden. På land används tjänsten t.ex. inom jord- och skogsbruket.

Utvecklingstendenser

Systemet kommer inom den närmaste femårsperioden att fylla en funktion för de tillämpningar som det används för idag. Ett eventuellt framtida förbättrat GPS och det nya GALILEO, som ger god noggrannhet och integritetsinformation direkt från satellitsystemen, kan innebära att systemets betydelse minskar.

1.5.3 Internationella system

1.5.3.1 *Omnistar DGPS, Seastar, Skyfix Starfix*

Fugro tillhandahåller en flera internationella DGPS- och RTK-tjänster för olika tillämpningar. Under 2003 köpte Fugro konkurrenten Thales Geosolutions, tjänsterna har integrerats i Fugros tjänster.

OmniSTAR DGPS är en internationell DGPS-tjänst som nyttjar geostationära kommunikationssatelliter för distribution av korrekationer i RTCM SC-104 v 2. OmniSTAR använder sig bl.a. av data från fyra SWEPOS-stationer. Tjänsten finns med två olika noggrannhetsnivåer, 10-20 cm respektive 1-2 m, och kan endast användas för landtillämpningar. (LandStar från fd Thales Geosolutions ersätts av OmniSTAR-tjänster)

SeaStar är en internationell DGPS-tjänst som nyttjar geostationära kommunikationssatelliter för distribution av korrekationer i RTCM SC-104 v 2. Seastar erbjuder ett flertal tjänster med noggrannheter från decimeternivå till 2-meter och är framför allt till för tillämpningar på sjön.

StarFix är en internationell DGPS-tjänst som nyttjar geostationära kommunikationssatelliter (bl.a. Inmarsat) för distribution av korrekationer i RTCM SC-104 v 2. Starfix erbjuder ett flertal tjänster med olika noggrannhetsnivåer från decimeter till 3meter. (Deltafix från fd Thales Geosolutions ingår i dag under StarFix.

SkyFix är en DGPS-tjänst som nyttjar Inmarsat och "Spot beam" satelliter för distribution av korrekationerna i RTCM SC-104 v 2. Tjänsten finns med två

olika noggrannhetsnivåer, 10-15 cm respektive 1-2 m, och är framför allt till för tillämpningar på sjön. SkyFix ägdes tidigare av Thales Geosolutions, men är idag en Fugro tjänst.

1.5.3.2 EUROFIX

Tekniska data

Signaldata:	Information som GPS korrekationer, integritetsinformation och andra korta meddelanden kan sändas till användarna genom en tillkommande tidsmodulation av Loran-C signalerna. Loran-C-signalen består av faskodad sändning av pulsgrupper i frekvensområdet 90-110 kHz. Pulslängd 250 μ s. Tidsmodulationen sker genom en förskjutning av dessa pulser med ± 1 μ s.
Noggrannhet:	Den extra kodningen av Loran-C/Chayka signalen överför korrekationer som utnyttjas för korrigering av GPS-signalerna. Den resulterande GPS noggrannheten blir i storleksordning 1-5 m.
Räckvidd:	Typiskt 1000 km över hav. Till skillnad från Loran-C/Chayka kräver korrektionsöverföringen endast signal från en sändare.
Tillgänglighet:	Nära 100 %.

Systembeskrivning

EUROFIX är ett integrerat radionavigations- och kommunikationssystem som kombinerar Loran-C och differentiella korrekationer för GPS. Loran-C utnyttjas här som en datalänk för överföring av differentiella GPS-korrektioner genom modulation av Loran-C signalen. I systemet kommer integrerade mottagare för Loran-C och DGPS att användas, vilket ger många fördelar. Med hjälp av noggrann DGPS kan vågutbredningen i Loran-C estimeras och kalibreras. Vid bortfall av GPS i skogar, dalgångar, i stadsmiljö etc. kan då navigering ske med ett betydligt noggrannare Loran-C än som annars skulle ha varit fallet. Enligt praktiska prov kan noggrannhet av storleksordning 3-25 m påräknas. Via Loran-C kan DGPS-korrektioner distribueras över hela Europa inom avstånd av upp till 1000 km eller mer från respektive sändare.

Metoden är provad med gott resultat och införd i fyra av sändarna i NELS-kedjan. Det finns planer på att komplettera Chayka-kedjorna och Loran-C kedjan i Medelhavet med EUROFIX-funktion.

Tillgången på moderna mottagare är för närvarande låg, vilket begränsar användning av Loran-C.

Lägesbeskrivning/användare

I en pågående studie benämnd LOREG (Loran/EUROFIX/-EGNOS Test & Validation Programme) pågår studium av fördelarna med kombinerat bruk av Loran-C/EUROFIX och EGNOS i olika typer av användningar. I studien omfattas de i NELS ingående fyra sändarna Bö, Vaerlandet, Sylt och Lessey som samtliga sänder EUROFIX-signaler. Även Chayka avses komma att kompletteras med EUROFIX-funktion.

Systemet har huvudsakligen använts i tester och demonstrationsprojekt och ännu inte fått någon nämnvärd praktisk användning.

Utvecklingstendenser

EUROFIX framtid är helt beroende av fortsatt drift av Loran-C. Se avsnitt 1.2.1.1.

1.5.3.4 SBAS (Satellite Based Augmentation System - WAAS, EGNOS, MSAS)

Tekniska data

Signaldata:	Tjänsten distribueras via geostationära satelliter. Utsändning sker samlokaliserat med GPS L1 på frekvensen 1575,42 MHz. Signalen innehåller kod för avståndsbestämning (jmf. GPS) samt olika typer av data. Utsändningstakten för dataströmmen är 250 bitar/sek (jmf. med GPS 50 bit/sek).
Noggrannhet:	SBAS är specificerad för att med GPS uppfylla ILS Cat I. Detta motsvarar en noggrannhet av omkring 2 meter i horisontalplanet och 5 meter vertikalt.
Räckvidd:	De olika SBAS-tjänsterna är indelade i flera nivåer. Den optimala täckningen ligger inom dess "Core Coverage

Area” som för EGNOS omfattar större delen av Europa. Utanför detta område avtar täckningen men överlappas i vissa fall av andra SBAS.

Tillgänglighet: Ingen uppgift.

Integritet: De olika SBAS-tjänsterna är stödsystem till GPS (i viss mån GLONASS), med huvudsyftet att öka integriteten för användare av GPS. Systemen skall larma inom 6 sekunder om någon GPS-satellit sänder ut felaktiga data. För att kunna uppfylla detta används ett separat nätverk av monitoreringsstationer som kontinuerligt kontrollerar signalerna från GPS-satelliterna.

Systembeskrivning

GPS utan någon form av stödsystem uppfyller i dagsläget inte de krav som ställs för vissa specifika tillämpningar. Det är framförallt civil luftfart som kräver högre noggrannhet och tillförlitlighet för navigering med hjälp av GNSS. ”Satellite Based Augmentation System” (SBAS) är en standard för satellitbaserade stödsystem till GPS, GLONASS och i framtiden även till GALILEO.

SBAS kan i utformning liknas vid GPS då det består av en rymdedel med geostationära satelliter, en markdel bestående av ett nätverk av kontrollstationer samt en användardel med SBAS-kompatibla GPS-mottagare. SBAS använder dessutom samma frekvens som GPS L1 (1575,42 MHz). Därmed kan samma mottagare ta emot både SBAS och GPS-signaler. Genom att höja noggrannheten, integriteten och tillgängligheten för den civila SPS-tjänsten i GPS kan bl.a. kraven på inflygning och landning av flygplan enligt ILS Kategori I uppfyllas.

SBAS-signalen innehåller tre delkomponenter som kommer användaren till gagn.

- Differentiella korrekationer
- Integritetsövervakning
- Avståndskod

SBAS använder sig av ”Wide Area Differential” (WAD)-korrekationer vilket innebär att avståndet mellan referensstation och användarens mottagare kan

vara längre jämfört med traditionella markbundna DGPS-tjänster. WAD-korrekktionerna innehåller framförallt en förbättrad jonosfärsmodell, då jonosfärens inverkan på GPS-signalerna i dagsläget är den enskilt största felkällan.

Integritetsövervakningen är en viktig faktor vad gäller SBAS. Den styrs av parametrar som beräknas och jämförs för att på så sätt erhålla information om systemets tillförlitlighet. Detta gäller såväl för själva SBAS-tjänsten som för GPS. Mottagaren erhåller information om vilken/vilka satelliter som inte skall användas i positionslösningen.

Utöver differentiella korrekktioner och integritetsövervakning förmedlas även en avståndskod vilket innebär att mottagaren kan använda SBAS-satelliterna som vanliga GPS-satelliter. På så sätt höjs tillgängligheten.

Det finns idag minst fyra SBAS-tjänster under uppbyggnad. EGNOS i Europa, WAAS i USA, C-WAAS i Kanada och MSAS i Japan. Dessa tjänster skall vara kompatibla med varandra, det vill säga samma mottagare ska kunna användas för samtliga.

EGNOS

European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) utvecklas i samarbete mellan ESA, EU och Eurocontrol. EGNOS är den SBAS-tjänst som täcker den europeiska kontinenten.

EGNOS kan beskrivas för varje av de tre delarna: rymd-, mark- och användardel.

- Rymddel: tre geostationära satelliter varav två Inmarsat III-satelliter, AOR-E och IOR samt en ESA-satellit ARTEMIS.
- Markdel: 34 st referens- och integritetsövervakande stationer, 4 st huvudkontrollstationer samt 7 st markstationer för överföring av data till satelliterna.
- Användardel: GPS/SBAS-mottagare.

EGNOS är uppbyggt av 34 st Ranging and Integrity Monitoring Stations (RIMS) referens och integritetsövervakande markstationer för kontrollering av satelliternas konstellation och funktion. Varje satellit kontrolleras av flera RIMS-stationer innan korrektions- och integritetsmeddelande skapas. Dessa

RIMS-stationer är huvudsakligen placerade i Europa, men även på andra kontinenter.

Systemet innehåller fyra stycken Master Control Centre (MCC). Dessa huvudkontrollstationer bearbetar data från RIMS-stationerna. Det är endast en MCC som används åt gången, de andra är reserver.

För att länka upp EGNOS-data till de geostationära satelliterna används sju stycken Navigation Land Earth Stations (NLES).

Sverige ingår i det område som skall ha full teckning av EGNOS, men då tillgängligheten avtar med ökad latitud (låga elevationsvinklar) så minskar användbarheten av EGNOS i norra Sverige. Detta kan medföra att kraven från luftfarten inte kan uppfyllas på dessa latituder, men här kan kompletterande system etableras som "Ground Regional Augmentation System" (GRAS).

Lägesbeskrivning/Användare

Jämfört med den amerikanska motsvarigheten, WAAS, så framställs EGNOS lite annorlunda. Man framhåller EGNOS som ett multi-modalt system, för olika typer av användare som är intresserade av det stöd EGNOS kan ge, inte bara för civil luftfart.

I dagsläget finns stöd för EGNOS/SBAS i alla kategorier av mottagare, från enklaste handhållna till geodesimottagare. Prisbilden varierar för EGNOS/SBAS-funktion, från 0-200 USD.

Utvecklingstendenser

Uppbyggnaden av systemet pågår, i dag (2006-09-18) återstår det att uppföra 3 st RIMS för att uppnå det totala antalet av 34 st. Uppbyggnad av övrig infrastruktur bestående av NLES och MCC:s är avklarat.

Utveckling och systemtester har sedan 2000 skett genom "EGNOS system Test Bed" (ESTB), under 2005 påbörjades sändning av EGNOS. Parallella aktiviteter i ESTB och EGNOS är planerade åtminstone under 2006.

Framöver fortsätter olika faser av testning och utvärdering och under 2006/2007 är förhoppningen att EGNOS Open Service skall vara tillgänglig. Därefter fortsätter arbetet med att säkerställa "Safety of Life"-användning av EGNOS.

1.5.4 Assisted GPS

AGPS innefattar en integrerad GPS-mottagare och radiomottagare i en mobil enhet. Radiomottagare används för att förse den mobila enhetens GPS-mottagare med data om dess ungefärliga position, vilka satelliter som är i vy och deras respektive doppler-skift.

Tanken med att stötta GPS-mottagaren med data är att få ner tiden det tar att beräkna en första position. För en fristående GPS-mottagare kan denna tid vara i storleksordningen en minut. Om denna tid kan sänkas till någon eller några sekunder så kan GPS-mottagaren stängas av mellan de tidpunkter då positionen efterfrågas. Detta sparar batteri vilket är viktigt om den till exempel kombineras med en mobiltelefon.

Tekniska data

Signaldata:

Tekniken AGPS baseras på två radiomottagare. Dels själva GPS-mottagaren (se avsnitt), dels mottagaren för stöttande data, vanligtvis någon form av mobilteleutrustning.

- | | |
|-----------------|--|
| Noggrannhet: | AGPS ger samma noggrannhet som den GPS-mottagare som används. I stadsmiljö och inomhus degraderas noggrannheten då inverkan av flervägsutbredning (multipath) ökar. |
| Räckvidd: | Tjänsten är beroende av stöttande data och är därmed begränsad till kommunikationslänkens räckvidd eller serviceområde. Utanför detta område fungerar AGPS-mottagaren som en fristående GPS. |
| Tillgänglighet: | En bättre tillgänglighet än en fristående GPS kan förväntas, men det är osäkert hur stor denna förbättring kan bli. I de lägen då stöttning saknas blir tillgängligheten densamma som för en fristående GPS. |

Systembeskrivning

Stödinformationen distribueras av en centraliserad navigeringsserver med tillhörande GPS-mottagare. Denna avkodar mottagna satellitsignaler och vidarebefordrar relevanta data till AGPS-mottagaren. Typen av digital

kommunikationslänk saknar betydelse, men eftersom den enhet som AGPS vanligast integreras i är mobiltelefoner så är GPRS det vanligaste sättet att överföra data. Det finns två huvudsakliga standarder för hur de assisterande data skickas över kommunikationslänken, SUPL och X1.

Det som skickas till AGPS-mottagaren är en beräknad position samt banddata för satelliterna. Även stöttning av tid är möjlig. Denna information gör att mottagaren kan minska sitt sökområde betydligt och därmed minskar tiden det tar att beräkna sin position. Tiden för att få en första positionsangivelse, TTFF (Time To First Fix), kan minskas från i storleksordningen en minut till någon enstaka sekund. I begränsad omfattning kan positionering även ske inomhus.

Att implementera AGPS i ett 3G-nät kan vara en fördel, då mycket noggrann tid (mikrosekundnivå) är en av grundstenarna för att CDMA-tekniken ska fungera. I ett GSM-nät är tidsangivelsen inte lika noggrann. Stöttning med noggrann tid gör att GPS-mottagarens TTFF minskas ytterligare. Troligen kommer därför AGPS att vara effektivare i ett 3G-nät än i ett GSM-nät, så som näten ser ut idag.

Lägesbeskrivning/Användare

I USA är det lagkrav på att kunna lokalisera en mobiltelefon vid ett nödsamtal (E-911) som har drivit fram utvecklingen av AGPS. Nu bedöms AGPS bli den teknik som blir dominerande för nödlokalisering i USA. Även inom EU arbetas det på liknande krav.

Användare av AGPS är speciellt intresserade av en bättre tillgänglighet än vad enbart GPS kan ge. Användningsområdena för AGPS kan delas in i följande tre typfall:

- **Nödlokalisering.**
Då en person ringer ett nödsamtal från en mobiltelefon så vill man kunna lokalisera denna. Noggrannheten vid lokalisering av en vanlig mobiltelefon kan vara ganska osäker så det finns behov av ett stöttande system som förbättrar prestandan. AGPS är en möjlighet.
- **Övervakning.**
Det kan vara önskvärt att kunna följa en person eller ett föremål som förflyttar sig. Exempel är poliser eller väktare som patrullerar.

- Positioneringstjänster.

AGPS är fortfarande delvis under utveckling, även om det finns standarder för överföring av data mellan positioneringsservern och den mobila enheten. Tester av AGPS i Sverige har visat mycket olika resultat, framför allt vad gäller tillgänglighet, från mycket stor till nästan ingen förbättring.

I slutet av 2005 finns en kommersiell AGPS-tjänst tillgänglig på den svenska marknaden. Det är mobiloperatören Tre som tillhandahåller tjänsten för telefoner med AGPS-mottagare. Även Telia Sonera har gjort försök med AGPS. Med Tres ligger TTFF på över 20 sekunder, vilket innebär en ganska måttlig förbättring jämfört med vad en fristående GPS kan prestera. Även Telia Sonera har liknande erfarenheter efter sina försök.

Ett problem vid integration i en mobiltelefon kan vara antennlösningen. Om GNSS-mottagaren och mobiltelefonen delar samma antenn, vilket ger praktiska och ekonomiska fördelar, kan detta ge sämre mottagning än med en optimerad GNSS-antenn.

Utvecklingstendenser

Med tanke på att användningen av positioneringstjänster i samhället och att kraven, både i fråga om tillgänglighet och noggrannhet, kan förväntas att öka, så kan AGPS bli intressant.

Den första generationen AGPS-mottagare har dock visat sig ge en mycket begränsad skillnad i prestandahöjning jämfört med en fristående GPS. Det återstår att se om framtida AGPS-mottagare kommer att ge ett ökat mervärde i form av snabbhet och tillgänglighet.

1.5.5 Pseudoliter

Tekniska data

Signaldata: Pseudoliter (PL) utgör referenstationer för GNSS med utsändning av differentiella korrektioner, navigeringsdata m.m. på samma bär vågsfrekvenser som det aktuella satellitnavigeringssystemet självt, dvs i nuvarande GPS på frekvenserna L1 (1575,42 MHz) eller L2 (1227,60 MHz). Signalerna är även modulerade med samma typ av kod, t.ex. C/A-kod.

Noggrannhet:	Samma som i ordinär differentiell GNSS med bruk av kod respektive bärvågsmåtning.
Räckvidd:	Normalt horisontbegränsad eftersom bärfrekvensen är lika hög som i t.ex. GPS och kan skymmas av terräng och höga byggnader.
Tillgänglighet:	Inom täckningsområdet sannolikt nära 100 %.

Systembeskrivning

Pseudoliter (PL) utgör referensstationer för GNSS med utsändning av differentiella korrektioner på samma bärvågsfrekvenser som det aktuella satellitnavigeringssystemet självt, dvs. på frekvenserna L1 eller L2 i nuvarande GPS. Dessutom är signalerna modulerade med samma typ av kod, t.ex. C/A-kod, så att dessa PL samtidigt kan utnyttjas för positionsbestämning på exakt samma sätt som med satelliterna. Dessa referensstationer har alltså den dubbla funktionen att sända ut bl a differentiella korrektioner och att utöka nätet med ytterligare sändare, s.k. "Pseudo-satelliter" – eller hopskrivet "Pseudoliter". Beteckningen "Pseudo" används här för att ange att det rör sig om en "falsk", dvs. oäkta satellit.

En stor fördel är att ingen separat mottagare krävs för pseudolitsignalerna eftersom sändningen sker på samma frekvenser och med användning av likadana koder som i det ordinarie satellitsystemet. Pseudoliterna fungerar i praktiken som ytterligare satelliter i systemet och ger därmed en förbättring och utökning av satellitnätets täckning och geometri. Dessa PL har även en inbyggd monitorfunktion med övervakning och överföring av integritetsmeddelanden och annan information parallellt med de differentiella korrektionerna.

Användning av PL innebär dock vissa nackdelar. Räckvidden blir t.ex. horisontbegränsad och kan skymmas av terräng och höga byggnader eftersom bärfrekvensen är hög. Ett annat problem är den s.k. "near-far"-problematiken. Eftersom en markplacerad pseudolit har en utstrålad effekt som lätt blockerar mottagningen av de ytterst svaga satellitsignalerna är det angeläget att begränsa eller eliminera denna risk för oavsiktlig störning. Metoder att begränsa interferensrisken är dels att förskjuta bärfrekvensen för en PL något så att den inte exakt sammanfaller med satellitsignalens bärfrekvens, dels att lägga på en speciell "tidspulsning" av signalen, så att den normala C/A - kodmottagningen inte störs men aktiverar mottagarens inbyggda begränsning

av högeffekt-pulser. Vidare försöker man reducera den utsända effekten till så låg nivå som möjligt med hänsyn till det aktuella räckviddsområdet för respektive pseudolit.

Lägesbeskrivning/Användare

Applikationen finns inom i första hand luftfarten i USA. Idag förekommande pseudoliter är normalt markplacerade i noggrant inmätta positioner. Som exempel på bruk av markplacerade PL kan nämnas det system LAAS (Local Area Augmentation System) som utvecklas i USA för bruk inom den regionala luftfarten för noggrann anflygning och landning på flygplatser. Genom placering av exempelvis två PL på lämpligt avstånd från ett flygfält fås dels hög noggrannhet på grund av det korta avståndet till dessa referensstationer för GPS, dels en fördelaktig geometri. Som bonuseffekt fås ökad redundans mot fel eller bortfall av satellitsignaler. Tack vare närheten till referensstationerna kan sekundsnabb inlåsning ske mot bärvågssignalerna i samband med överflygning, vilket gynnar användning av RTK för noggrann landningsnavigering.

Utvecklingstendenser

Tekniken befinner sig fortfarande i ett utvecklings- respektive prototyp-stadium och syns än så länge vara begränsad till applikationer inom den kommersiella luftfarten i USA.

Sammanfattningsvis medger användning av pseudoliter möjlighet att med samma mottagare som för navigeringssignalerna ta emot differentiella korrektioner och integritetsinformation samtidigt som antalet tillgängliga satellitsignaler ökar med förbättrad geometriskt betingad noggrannhet som följd. Användningen av pseudoliter kan förutses få ökad omfattning, speciellt inom den regionala luftfarten, för noggrann hamnövervakning mm. För exempelvis militärt bruk kan det vara önskvärt att komplettera den satellitbaserade delen med ett marknät av PL (med hög effekt) som står under egen kontroll och som kan utnyttjas vid avsiktlig störning av de ordinarie svaga satellitsignalerna.

1.6 ÖVRIGA STÖDSYSTEM

Sammanställning av system, teknik och metoder som utgör hjälpmedel eller stöd för att förbättra funktion, noggrannhet och säkerhet respektive underlätta användandet av navigerings-, presentations- och övervakningsutrustningar.

Till gruppen stödsystem räknar vi elektroniska kart- och positions-presentationssystem samt kommunikationssatelliter utrustade med transpondrar för överföring av differentiella korrektioner för satellitnavigeringssystem. Dessa kommunikationssatelliter kan i flera fall samtidigt fungera även som extra navigationssatelliter i s.k. "augmentation systems".

1.6.1 ECDIS

ECDIS, Electronic Chart Display and Information System, är enligt SOLAS Reg V från den 1 juli 2002 godkänt som ett informationssystem, vilket kan ersätta ett tryckt sjökort som navigeringsunderlag. Ingående digitala sjökortsdata, ENC, är i vektorform och framställs av auktoriserade sjökortsproducenter. Vektorisering ger möjlighet till ett intelligent urval av sjökorts-information jämte t.ex. varningar för grund och andra farligheter. Systemet integrerar data från framför allt positionssystem, men även från andra källor såsom radar, AIS etc. Överföring av den digitala sjökortsinformationen kan ske via CD, radiokommunikation etc. Varje enskild cell betingar ett visst pris. Den totala kostnaden för ett fartygs sjökortsdata är beroende på den täckningsgrad som behövs för seglatsen. En cells storlek är betingad av navigeringsskalan och motsvarar för ett skalområde omkring 1:50 000 ungefär ett motsvarande tryckt sjökort.

Ytterligare funktioner i ECDIS fås genom möjligheten att ansluta en färdskrivare (Voyage Data Recorder) för efterkonstruktion av navigeringsförlopp.

Ett intensivt arbete pågår för närvarande hos sjökarteproducenter för att skapa heltäckande digitala sjökortsbaser. Detta har fått en positiv påverkan genom den ministeriella Köpenhamnsdeklarationen inom HELCOM från den 10 september 2001. Denna deklaration har för ökad säkerhet i Östersjön påbjudit ett antal säkerhetshöjande åtgärder, vari ingår uppbyggnaden av ENC, införandet av AIS m.m. Sverige distribuerar ENC-celler genom PRIMAR som är ett internationellt samarbetsorgan för distribution av ENC-data.

Andra på marknaden förekommande system, vare sig de är i vektor- eller rasterform, kallas Electronic Charts Systems, ECS. Hit räknas även de rastersjökort, som framställs av vissa sjökarteverk exempelvis ARCS, Admiralty Raster Chart Service från Storbritannien. Dessa system svarar inte upp mot SOLAS Reg V. Navigering skall här ske med hjälp av tryckta sjökort och där det elektroniska kartsystemet får ses som ett komplement.

1.6.2 Positionering via satcom-system

För kontinental täckning använder en del stödsystem ordinarie geostationära kommunikationssatelliter för att distribuera korrekationer och integritetsdata i realtid. Dessa satelliter kan användas även i själva positionsbestämningen genom att i egenskap av "extrasatelliter" ingå som del i GNSS-systemet. Därav namnet "Satellite Based Augmentation Systems". Se närmare avsnitt 1.5.3.4. SBAS för denna teknik.

Det som dylikt stödsystem vanligast använda och mest kända geostationära satellitsystemet för kommunikation är det som ägs av den internationella organisationen INMARSAT. Distributionen av korrekationer och funktionen som "extrasatellit" sker genom speciella transpondertillsatser på satelliterna.

Nedan följer lite allmänna tekniska data och en kort organisationsbeskrivning för systemet. Mer detaljer om de olika tjänsterna i INMARSAT framgår i bl.a. avsnittet om INMARSAT i den äldre radionavigeringsplanen från år 2000.

Tekniska data

Signaldata:	Mobil $\Leftrightarrow$ Satellit	L-band	1,5 $\Leftrightarrow$ 1,6 GHz
	Jordstation $\Leftrightarrow$ Satellit	C-band	3,6 $\Leftrightarrow$ 6,5 GHz
Tillgänglighet:	Systemet är tillgängligt dygnet runt och täcker i princip hela jordklotet förutom områdena kring Nord- och Sydpolen.		
Kapacitet:	Var och en av de fyra i systemet ingående satelliterna har en kapacitet motsvarande 200 talkanaler. I tredje generationens satellitkonstellation ingår idag fyra i drift och en reservsatellit. Dessutom används de fyra andra generationens satelliter som backup och för förhyrda förbindelser.		

Tjänster: Flera alternativa terminaltyper och olika tjänster kan erbjudas. Ett antal kanaler hyrs ut för olika ändamål, bl.a. för utsändning av korrektionssignaler för GPS.

Systembeskrivning

INMARSAT – The International Maritime Satellite Organization – tillhandahåller ett globalt kommunikationssystem, primärt skapat för fartyg till sjöss men även öppet för mobila och fasta enheter på land samt för flygplan. Systemet är baserat på f.n. fyra geostationära satelliter och ett antal jordstationer, f.n. 28. Teletrafiken, som utgörs av telex, telefon, telefax och datakommunikation, förmedlas via jordstationer som knyter samman de mobila INMARSAT-terminalerna med de nationell och internationella telenäten.

INMARSAT, som har sitt säte i London, har ett åttiotal aktieägare från lika många länder. Inmarsat omvandlades från internationell organisation till dels en mellanstatlig organisation, IMSO (International Mobile Satellite Organization), dels till två privata bolag den 15 jul 1999. Svensk delägare i IMSO är Telia Mobile Ab. Organisationen svarar för driften av satelliterna samt ett antal kontrollstationer. Trafiken förmedlas av ett antal nätoperatörer, dvs. jordstationsägare, oftast nationella telebolag. De nordiska länderna har en gemensam, station, Eik i sydvästra Norge.

1.6.3 Transponder sjöfart (AIS)

Den transponderteknik för flyg- och fartygstillämpningar som utvecklats i Sverige under 90-talet har fått en internationell acceptans. Tekniken baseras på att såväl position som en tidsreferens erhålls från navigationssatelliter och att informationen om fartyg/flygplan sändes ut via VHF- radio från utrustning ombord. Utsändningarna organiseras autonomt och baserat på den gemensamma tiden med s.k. SOTDMA teknik (Self Organising Time Division Multiple Access). Systemen för flyg resp sjöfart är likartade men ej interoperabla.

För sjöfarten har IMO beslutat om en ”Performance Standard” för ett transpondersystem som fått beteckningen AIS-Automatic Identification System. I standarden beskrivs systemets funktionalitet. ITU har sedan i ”Recommendation ITU-R m.1371-1” lagt fast vilken teknik som skall utnyttjas i systemet. Två 25 kHz kanaler inom det maritima VHF-bandet har allokerats för AIS och är tillgängliga i alla Europeiska farvatten och i de flesta

farvatten i övriga världen. Inom IEC har en testspecifikation för AIS utrustningen utarbetats, IEC 61993, och utrustning testas mot denna. Inom IEC fortsätter arbetet med utveckling av krav på displaysystemen, bl.a. för presentation av AIS- och radarinformation på gemensam display.

IMO beslutade år 2000 om att göra användandet av AIS obligatoriskt för fartyg över 300 ton genom att införa kravet i den s.k. SOLAS-konventionens regler. Motivet var att systemet skall utnyttjas för att undvika kollisioner, som ett hjälpmedel för VTS:er och för att ge kuststater möjlighet att få information om passerande fartyg och dess last. En plan för införandet lades fast som krävde utrustningens införande vid olika tidpunkter för olika fartyg fram till 1 juli, 2007 för internationell trafik och till 1 juli, 2008 för nationell trafik. I december 2002 beslutade IMO att tidigare lägga kravet för fartyg i internationell trafik till 31 december, 2004 som ett led i arbetet mot terrorism.

Sjöfartsverket har, i samråd med Kustbevakningen och Försvarsmakten, byggt upp ett nät av landbaserade AIS-basstationer för mottagning av information från fartyg och ett system för distribution av informationen till användare på land. Den information som fartygen sänder ut och som kan tas emot dels av övriga fartyg inom räckviddsområdet för VHF, dels av de landbaserade basstationerna, är uppdelad i fyra kategorier:

Statisk information:	Namn, "Call Sign", MMSI-nummer IMO-nummer, Längd, Bredd, Placering av positionssensor Fartygstyp
Dynamisk information:	Kurs och fart över grund Girhastighet Heading, "Navigational status" Positionsnoggrannhet
Ruttrelaterad information:	Djupgående, Destination, Beräknad ankomsttid (ETA), Typ av last
Textmeddelanden:	Kort säkerhetsrelaterad information

Den dynamiska informationen sänds ut med 2-180 s intervall beroende på fartygets fart och girhastighet. Övrig information sänds var 6:e minut eller på begäran. Den position som sänds ut via AIS skall komma från samma

positionssensor som används för navigeringen ombord för att säkerställa att samma information finns på sändande som mottagande fartyg.

Sjöfartsverket har inlett prov med utsändning av meteorologisk information enligt ett standardiserat format. Planer finns att med AIS sända information om vind, ström och vattenstånd för olika platser där Sjöfartsverket har tillgång till sådan information.

Meddelandena sänds på 2 olika frekvenser som används växelvis, genom att varannat meddelande sänds på en frekvens benämnd AIS 1 och varannat på frekvensen AIS 2. AIS utrustningen har därför separata mottagare som kontinuerligt tar emot signalerna på dessa frekvenser men normalt endast en sändare som alternerar mellan frekvenserna. AIS 1 utgörs av en 25 kHz kanal på 161,975 MHz och AIS 2 utgörs av en 25 kHz kanal på 162,025 MHz. För användning inom områden där AIS1 och AIS2 inte är tillgängliga krävs dessutom en mottagare för kanal 70 där information om lokalt använda AIS frekvenser kan sändas ut.

Ett internationellt utbyte av information från de landbaserade AIS-näten har etablerats genom Östersjöländernas samarbete inom Helcom samt med Norge och planeras för andra regioner inom EU. Informationsutbytet sker via en central server placerad i Köpenhamn där också data lagras för produktion av en samlad statistik över fartygstrafiken i Östersjön.

1.6.4 Transponder luftfart (ADS)

I luften är avsikten att meddelanden om luftfartygens position, fart, kurs och höjd ska sändas ut från flygplan tillsammans med information om planerad färdväg. Positionsinformationen tas normalt från en GNSS-mottagare ombord och sänds ut över en radiodatalänk. Principen kallas ADS, Automatic Dependent Surveillance. Den nu aktuella metoden bygger på att informationen sänds till alla och kallas då ADS-B, där B står för Broadcast. Det finns även andra principer som diskuterats, t.ex. ADS-C (Contract) där informationen sänds enbart till vissa. Informationen kommer sedan att användas både av andra flygplan och av flygtrafikledning och flygbolag på marken. Alla kan således se allas positioner på en display. Utsända positionsmeddelanden kan därvid användas i en rad olika applikationer för övervakning, antikollision, trafikplanering etc. Dessutom kan transpondern och dess datalänk, VHF Data Link Mode 4 (VDL Mode 4) användas för digital kommunikation mellan piloter, ATC (Flygtrafikledning), MET (Meteorologisk informationstjänst), flygbolag och andra parter. Det är heller

inget som hindrar att fordon på marken utrustas på liknande sätt, så att till exempel flygledaren i tornet kan hålla reda på fordon på bansystemet. Transpondern kan i framtiden komma att utgöra ett av luftens grundläggande teknisksystem för kommunikation, navigation och övervakning.

I luften utnyttjas datalänk av VHF-typ (136 MHz). Genom att i transpondern kombinera användningen av GNSS med en VHF datalänk på ett effektivt sätt kan alla de tre grundläggande tekniska funktionerna (kommunikation, navigation och övervakning), som behövs för att på ett säkert sätt flyga från A till B åstadkommas. Kommunikationen sker därvid digitalt över datalänk, navigeringen sker genom att de lokala stationerna tar emot positionsrapporter baserade på den information som utsänds via transponderns datalänk. Detta mycket kostnadseffektiva koncept är framtaget i Sverige. Standardisering av datalänken har pågått inom ICAO och publicerades officiellt 2002. Ett nätverk av markbaserade datalänkstationer finns idag etablerat i stora delar av Europa för test och validering. På Kiruna flygplats och på Arlanda finns ADS-B-stationer tillsammans med datalänk VDL Mode 4. Ett större EU-finansierat projekt för implementering pågår med målet att etablera ett operativt godkänt nätverk. Deltagande parter är Frankrike, Tyskland, Danmark, Finland, Norge, Österrike, Belgien och Sverige. I Sverige planeras 12 ADS-B/VDL Mode 4 stationer att installeras 2006-2007.

Det finns även andra tjänster som används med VDL Mode 4 länken.

TIS-B och FIS-B.

TIS-B är en tjänst som synliggör icke ADS-B utrustade flygplan. Detta innebär att man länkar upp all radar data till flygplanen så att flygplanet/piloten får tillgång till alla rörelser i dess närhet. Tjänsten finns som; Full surveillance, d.v.s. all information tas med, och Gap filler, d.v.s. bara icke ADS-B utrustade flygplan finns med. TIS-B är endast till för att ge flygplan "awareness" om andra flygplan i lufterummet. Informationen kan exempelvis presenteras på en skärm i cockpit.

FIS-B är en tjänst att förse cockpit med flygplatsspecifik information som aktuella väderförhållanden, landningsbana i användning, etc.

2 FREKVENSSÖVERSIKT

2.1 FREKVENSBAND AVSATT FÖR RADIONAVIGERING I SVERIGE

Följande sammanställning av frekvensband är ett utdrag ur PTSFS 1998:3 (Post- och Telestyrelsen, Den Svenska Frekvensplanen, Allmänna råd). Även frekvensband som är avsatta för Radiolokalisering ingår. Radarsystem innefattas i begreppet Radiolokalisering. Andra system som beskrivs i denna plan men ej har frekvenstilldelning som radionavigation/radiolokalisering har medtagits för fullständighetens skull, t.ex. GSM, ARGOS. De har markerats med *.

Frekvenser i kHz	Anmärkning
9 – 14	Före detta Omega
70 – 130	Decca, Loran-C, Puls 8
255 – 495	Radiofyrar (och DGPS)
505 - 526.5	Radiofyrar
Frekvenser i MHz	Anmärkning
1.625 -1.635	Radiolokalisering
1.8 - 1.81	Radiolokalisering
2.16 - 2.17	Radiolokalisering
2.625 - 2.65	Radionavigering
4.034 - 4,434/27.090 - 27.100	ERTMS/ETCS
4.3 - 4.7/27.090 - 27.120	ATC
74.8 - 75.2	ILS markeringsfyr
108-117.975	VOR,ILS
121.5*	Nödfrekvens COSPAS/SARSAT
136.950*	Mobil luftfartsradio, VDL-4
149.9 – 150.05	Före detta NNSS
161.975 + 162.025*	Mobil sjöfartsradio, AIS
243.0*	Nödfrekvens COSPAS/SARSAT

Frekvenser i MHz	Anmärkning
328.6 – 335.4	ILS
399.9 – 400.05	Radionavigation via satellit
401.65*	Jordutforskning via satellit, ARGOS
406 - 406.1	COSPAS/SARSAT, nödfrekvens
420 – 430	Radiolokalisering
432 – 438	Radiolokalisering
440 – 450	Radiolokalisering
890 – 942	Radiolokalisering
890 - 915*	Mobil radio, GSM, mobiler
935 - 960*	Mobil radio, GSM, basstationer
960 – 1215	Radionavigering för luftfart, DME, SSR
1350 – 1355	Radiolokalisering
1559 – 1626.5	Radionavigering, GPS, GLONASS, GALILEO
1710 – 1785*	Mobil radio, GSM, mobiler
1805 – 1880*	Mobil radio, GSM, basstationer
2300 – 2500	Radiolokalisering, satellit
Frekvenser i GHz	Anmärkning
2.7 - 3.1	Radiolokalisering/navigering, Racon
3.1 - 3.4	Radiolokalisering
3.4 - 3.6	Radiolokalisering
4.2 - 4.4	Radiohöjdmätare i luftfartyg
5.0 - 5.1	Radionavigering för luftfart, MLS
5.15 - 5.25	Radiolokalisering
5.25 - 5.35	Radiolokalisering
5.35 - 5.65	Radiolokalisering, Miniranger
5.65 - 5.85	Radiolokalisering
8.5 - 8.75	Radiolokalisering
8.75 - 9.8	Radiolokalisering/navigering, Racon, PAR

Frekvenser i GHz	Anmärkning
9.8 - 10.68	Radiolokalisering
13.25 - 13.4	Flygburen dopplernavigering, Decca DN 72
13.4 – 14	Radiolokalisering
14 - 14.4	Radionavigering
15.4 - 15.7	Radionavigering för luftfart, TILS
15.7 - 17.7	Radiolokalisering
24.05 - 24.25	Radiolokalisering
31.8 - 33.4	Radionavigering
33.4 – 36	Radiolokalisering
43.5 – 47	Radionavigering
59 – 64	Radiolokalisering
66 – 71	Radionavigering
76 – 81	Radiolokalisering
92 –95	Radiolokalisering
95 – 100	Radionavigering
126 – 134	Radiolokalisering
134 – 142	Radionavigering
144 – 149	Radiolokalisering
190 – 200	Radionavigering
231 – 235	Radiolokalisering
238 – 248	Radiolokalisering
252 – 265	Radionavigering

BILAGA 1 ANVÄNDA FÖRKORTNINGAR

ADF	Automatic Direction Finder Pejl som mäter riktning till rundstrålande radiofyr
ADS	Automatic Dependent Surveillance Rapporteringssystem i vilket flygplan rapporterar sin position och andra uppgifter till trafikledningscentral
AFL	Automatisk FordonsLokalisering
AGPS	Assisted GPS
AIS	Automatic Identification System
AOC	Advanced Operational Capability
ARCS	Admiralty Raster Chart Service
ARGOS	Advanced Research and Geographic Observation Satellite
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
ASF	Additional Secondary Phase Factor Faktor som beskriver avvikelser i vågutbredningshastigheten i Loran-C
ASK	Amplitude Shift Keying
ATC	Air Traffic Control
ATC	Automatic Train Control
BIPM	Bureau International de Poids et Mesures
BOC	Binary Offset Carrier
BPSK	Binary Phase Shift Keying
C/A-kod	Coarse Acquisition-code Den "civilt tillgängliga" koden i GPS
C-band	Frekvensbandet 4-8 GHz
CEP	Circular Error Probable
CERCO	Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle
CGSIC	Civil GPS Service Interface Committee
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales (Franska Rymdstyrelsen)
COS	Continuity of Service
COSPAS	Cosmicheskay Sistyema Poiska Avariynich Sudov (Space System for the Search of Vessels in Distress)
DGPS	Differential Global Positioning System
DMA	Defence Mapping Agency. Heter numera NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)

DME	Distance Measuring Equipment Ett system med markbaserade transponderfyrar som initieras av frågesignal från flygplan
DoD	Department of Defense (USA)
DoT	Departement of Transportation (USA)
DR	Dödräkningssystem
dRMS	Distance Root Mean Square
DSNS	Differential Satellite Navigation System Generellt begrepp för differentiell satellitnavigering oberoende av använt system
EC	European Commission
ECDIS	Electronic Chart Display Information System
ECS	Electronic Charts System Samlingsbegrepp för elektroniska sjökortssystem
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System
ELT	Emergency Locator Transmitter
ENC	Electronic Navigational Chart
EPIRB	Emergency Position Indicating Radio Beacon
EPOS	DGPS-tjänst Sänds ut via RDS-kanalen på nationella FM-nät på P4
ERNP	European RadioNavigation Plan
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESA	European Space Agency
ESTB	EGNOS System Test Bed
ETA	Estimated Time of Arrival
ETCS	European Train Control System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	European Union
FAA	Federal Aviation Administration Den amerikanska statliga luftfartsmyndigheten
FDD	Frequency Division Duplex
FIS-B	Flight Information Service – Broadcast
FM	Försvarsmakten
FMCW	FrekvensModulerad CW-signal (kontinuerlig bärvåg)
FMV	Försvarets Materielverk
FOA	Försvarets Forskningsanstalt Tidigare benämning på FOI
FOC	Full Operational Capability Begrepp som används för att definiera ett systems operativa status.
FOI	Totalförsvarets forskningsinstitut
FRP	Federal Radionavigation Plan USAs övergripande plan för utveckling av radionavigeringssystem. Utarbetas av DOD och DOT varannat år

FSK	Fasskiftskodning
FTP	File Transfer Protocol
GALILEO	Europeiskt satellitnavigeringssystem under utveckling
GCA	Ground Controlled Approach
GIS	Geografiska InformationsSystem
GJU	Galileo Joint Undertaking
GLONASS	GLOBAL NAVIGATION Satellite System Den ryska motsvarigheten till GPS
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System Nytt globalt sjösäkerhetssystem antaget av IMO
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GNSS	Global Navigation Satellite System(s)
GPRS	General Packet Radio Service Framtida Paketförmedlingsdatatjänst i GSM
GPS	Global Positioning System USAs från början rent militära satellitnavigeringssystem
GRAS	Ground Regional Augmentation System
GRI	Grupprepetitionsfrekvens Parameter i Loran-C
GSM	Global System for Mobile Communication
GSM-R	GSM – Railway
GTRF	GALILEO Terrestrial Reference Frame
GUKOS	State Department of Space Means Ansvarar för drift och underhåll och av ryska Glonass
HELCOM	Helsinki Commission Organisation för samarbete mellan Östersjöländerna inom främst miljöskyddsområdet
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEC	International Electric Comission
IGEB	Interagency GPS Executive Board
ILS	Instrument Landing System
IMO	International Maritime Organization
IMSO	International Mobile Satellite Organization
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization Internationellt satellitkommunikationsbolag med ett 80-tal delägare
IOC	Initial Operational Capability
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
ITU	International Telecommunication Union
Kat	Kategori

K-band	Ku-band: Frekvensbandet 12.5-18 GHz K-band: Frekvensbandet 18-26.5 GHz Ka-band: Frekvensbandet 26.5-40 GHz
LAAS	Local Area Augmentation System Ett lokalt WAAS
L-band	Frekvensbandet 1-2 GHz
LEO	Low Earth Orbit
LEP	Linear Error Probable
LFV	Luftfartsverket, Sverige
LLZ	Localizer (del av ILS)
LMV	Lantmäteriverket, Sverige
LORAN	LONg RANGE Navigation System Fanns tidigare i två varianter, LORAN-A och LORAN-C. LORAN-A är avvecklat. LORAN-C moderniseras f.n. .
LuLIS	Luftlägesinformationssystem Svenskt försvarsmaktsystem
LUT	Local User Terminal
M	Nautisk mil
MCC	Master Control Centre
MET	Meteorology ICAO förkortning som används för att beteckna den meteorologiska tjänsten inom luftfarten
MGRS	Military Grid Reference System
M-kod	Planerad utveckling av kodstrukturen i GPS
MLS	Microwave Landing System
MMSI	Maritime Mobile Service Identity
MPS	Mobile Positioning System
MSAS	Multi-function Transport Satellite (MTSAT) based Augmentation System
MSSR	Monopuls SSR Utför vinkel- och avståndsmätning till transponderförsedd flygplan på en enda puls
MTBO	Mean Time Between Outages
NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA)
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NDB	Non-Directional Beacon Rundstrålande radiofyr för navigeringsändamål
NELS	North-west European Loran-C System
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NIMA	National Imagery and Mapping Agency. Heter numera NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)
NLES	Navigation Land Earth Stations

NNSS	Navy Navigation Satellite System USAs föregångare till GPS. Togs ur drift 1 jan 1997
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (USA) Motsvarar SMHI
PAR	Precision Approach Radar Flygplatsradar avsedd för ledning och övervakning av landningsfasen
PDOP	Position Dilution Of Precision
P-kod	Precise code Den militära koden i GPS som är bärare av PPS-tjänsten. P-koden är idag krypterad till Y-kod
PL	Pseudolit
PPI	Plan Polär Indikator
ppm	Parts per million
PPS	Precise Positioning Service GPS högre precisionsnivå, avsedd för militära användare
P-RNAV	Precision Area Navigation
PRS	Public Regulated Service Statligt åtkomstkontrollerad tjänst i GALILEO
PSK	Phase Shift Keying
PTS	Post- och Telestyrelsen
PTSFS	Post- och Telestyrelsens Författningssamling
PTT	Platform Transmitter Terminal (ARGOS)
PZ-90	Ryskt geodetiskt referenssystem
RACON	Radar Transponder Beacon Svarsfyr som återsänder mottagen puls från fartygsbaserad navigeringsradar
RADAR	Radio Detection And Ranging
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring En för bl a flygplanbruk använd metod för integritetskontroll av GPS-sigaler. Autonom metod helt knuten till GPS-mottagaren.
RATC	Radio Automatic Train Control
RDS	Radio Data System
RIMS	Ranging Integrity Monitoring Stations
RINEX	Receiver Independent Exchange Format Dataformat för bl.a. efterberäkning av satellitinmätta positioner
RNAV	Area Navigation
RNP	Radionavigeringsplan
RNN	Radionavigeringsnämnden
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics RTCA SC-159 namn på standard för differentiella GPS-korrekationer för bruk inom luftfarten
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services RTCM SC-104 namn på standard för differentiella GPS-korrekationer för bruk inom sjöfarten

RTK	Real Time Kinematic Bärvågsmätning i realtid, dvs. relativ GPS-mätning med centimeternoggrannhet i realtid
SA	Selective Availability
SAR	1. Synthetic Aperture Radar 2. Search And Rescue
SARSAT	Search And Rescue Satellite-Aided Tracking
S-band	Frekvensbandet 2-4 GHz
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SjöV	Sjöfartsverket, Sverige
SOLAS	Safety Of Life At Sea
SOTDMA	Self organizing Time Division Multiple Access Se även STDMA
SPS	Standard Positioning Service GPS lägre precisionsnivå, allmänt tillgänglig
SSR	Secondary Surveillance Radar Denna radars pulser utlöser en svarssignal från en transponder i flygplanet. Svarssignalen innehåller uppgifter om bl.a. flygplanets identitet och höjd
SSR Mode-S	En applikation av SSR som kan användas för att genom direktadressering av enskilda flygplan överföra/ta emot data som t.ex. position, kurs, hastighet etc.
STDMA	Self organizing Time Division Multiple Access Se även SOTDMA
SWEPOS	Svenskt nationellt nät av fasta referensstationer för GPS Avsett för såväl realtids- som efterbearbetning med centimeter- till meternoggrannhet
TAI	International Atomic Time
TDMA	Time Division Multiple Access
TFT	Thin Film Technique
TILS	Tactical Instrument Landing System Militär version av MLS
TIS-B	Traffic Information System – Broadcast
TN	Tröghetsnavigering
TTFF	Time To First Fix
TWT	Travelling Wave Tube Vandringsvågörör
UDF	UHF Direction Finding
UHF	Ultra High Frequency Omfattar generellt frekvensbandet 300-3000 MHz
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USNO	United States Naval Observatory
UTC	Universal Time Coordinated

WAAS	Wide Area Augmentation System Understödjer GPS med hjälp av WAD-, GIC och GPS-transpondrar i geostationära satelliter
WADGPS	Wide Area DGPS En differentiell metod där korrektionerna baseras på mätningar från ett antal referensstationer med modellering av jonosfärens, atmosfärens och en rad andra felkällors inverkan
WA-teknik	Wide Area-teknik En satellitbaserad DGPS-metod
W-CDMA	Wide band - Code Division Multiple Access
VDF	VHF Direction Finding
VDL Mode 4	VHF Digital Link Model 4
VFR	Visual Flight Rules
WGS 84	World Geodetic System 1984 Utgör referenssystemet i GPS. Används som referenssystem även för flyg- och fartygsnavigering
VHF	Very High Frequency Omfattar generellt frekvensbandet 30-300 MHz. För flygnavigering används 108-118 MHz (VOR och ILS) och för flygkommunikation 118-137 MHz
VLF	Very Low Frequency, 3-30 kHz
WMS	Wide Area Master Stations Ingår i WAAS
VOR	VHF OmniRange Allriktad radioflygfyr
VTs	Vessel Traffic Service Trafikinformationsservice till fartyg
WWW	World Wide Web Internetadress
X-band	Frekvensbandet 8-12 GHz
Y-kod	Krypterad P-kod

BILAGA 2 FELBEGREPP/NOGGRANNHET

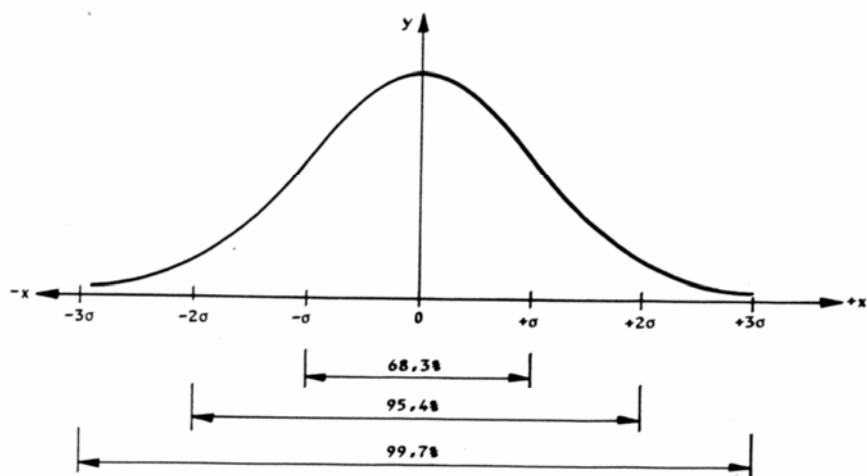
Statistiskt mått på noggrannhet

Med positionsnoggrannhet avses normalt ett talvärde kopplat till ett sannolikhetsmått, t.ex. 10 m, 95 %. Detta mått anger då sannolikheten för att ett observerat värde inte avviker med mer än det angivna talet från "sant" värde.

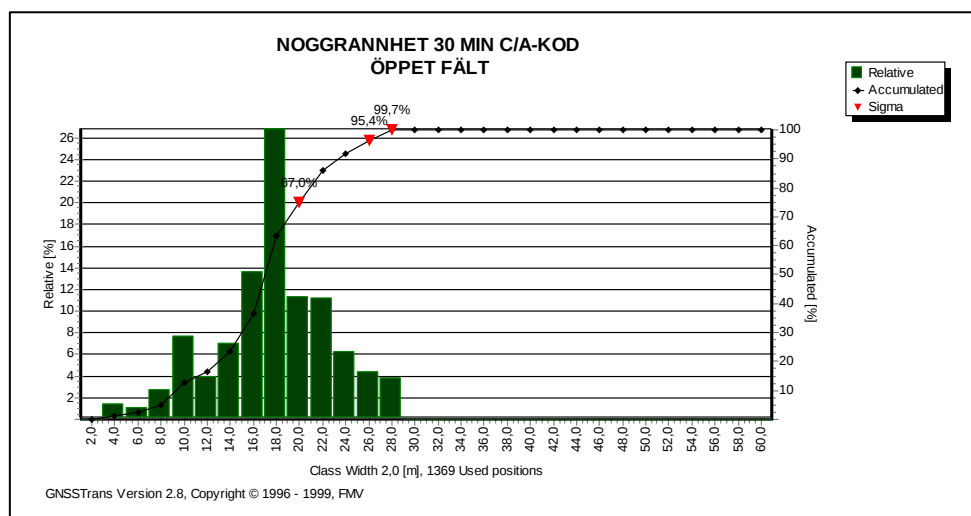
Förutom sannolikhetsmättet är felets fördelning över ytan eller i en volym i rummet av stor betydelse för bedömning av noggrannheten. Normalt antas därvid på förhand att mätfelet är sammansatt av ett stort antal separata felkällor. Enligt den s.k. Centrala Gränsvärdesatsen gäller då att den resulterande fördelningen approximativt kan betraktas som normalfördelad eller "Gaussisk".

Normalfördelningen karakteriseras av att medelvärdet $m = 0$ och att spridningen eller den s.k. standardavvikelsen σ markerar gränsen för 68 % felspridning. Detta innebär i det endimensionella fallet att 68 % av antalet mätningar faller inom området $\pm \sigma$. Vidare gäller att 95 % av antalet mätningar ligger inom gränserna $\pm 2 \sigma$. Observera att det enbart är i det normalfördelade fallet som 95 % - värdet motsvaras av plus eller minus två gånger standardavvikelsen σ . I figur B 2.1 visas exempel på en normalfördelning över ortlinjefelet i det endimensionella fallet.

I figuren har inlagts de matematiskt mer exakta värdena för felspridningen.



Figur B.1.1. Normalfördelning över ortlinjefel



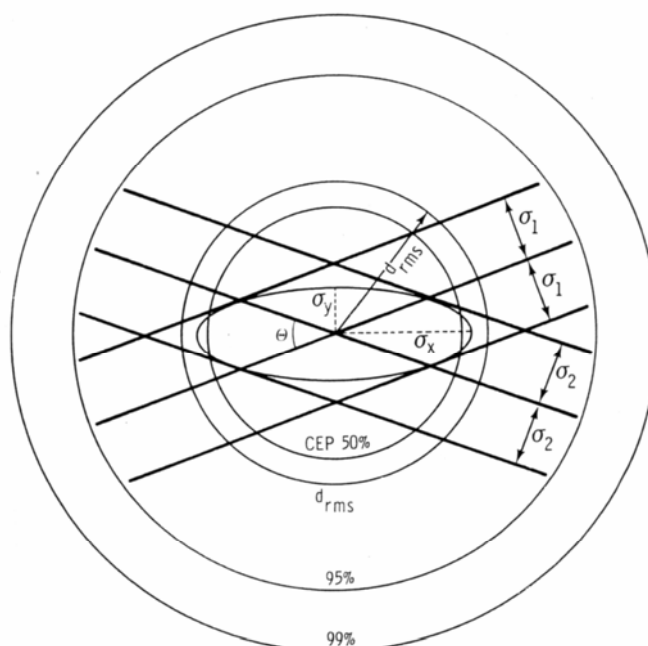
Figur B.1.2. Exempel på bruk av stolpdiagram för statistisk bestämning av grafisk fördelningsfunktion. I exemplet visas resultat från mätning med civil GPS-mottagare.

I vissa fall är felspridningen endast approximativt normalfördelad eller inte alls normalfördelad. I dessa fall kan man genom praktisk uppmätning bestämma felstatistiken. Med hjälp av stolpdiagram som innehåller uppmätt procentuellt fel som funktion av stolpdiagrammets bredd (klassbredden) kan felets fördelningsfunktion skissas grafiskt. Ur den grafiska

fördelningsfunktionen kan sedan värdet på de önskade felparametrarna för t.ex. 68 %-alternativt 95 %-nivåerna direkt bestämmas. I figur B 2.2 visas ett exempel från ett praktiskt mätfall där klassbredden är 2 meter. Ur den skisserade fördelningsfunktionen - som beskriver sannolikheten för att felet understiger det aktuella värdet - framgår att 95 % värdet i aktuellt fall blir ca 26 meter.

Felellips och cirkulära osäkerhetsområden

För att få en position erfordras minst två skärande ortlinjer i det tvådimensionella fallet. Båda ortlinjerna behäftas med var sin felspridning, som tillsammans ger ett osäkerhetsområde. I figur B 2.3 visas skärningen mellan två ortlinjer som var och en antas ha en normalfördelad felspridning med standardavvikelsen σ_1 respektive σ_2 . Osäkerhetsområdet i det tvådimensionella fallet definieras matematiskt som en ellips – den s.k. felellipsen – med axlarna σ_x respektive σ_y . I specialfallet när skärningsvinkeln mellan ortlinjerna är 90 grader och standardavvikelseerna är lika stora (dvs. när $\sigma_1 = \sigma_2$) blir osäkerhetsområdet en cirkel.



Figur B.1.3. Elliptiskt och radiellt felområde i tvådimensionella fallet

Felellipsen är starkt geometriberoende. Detta innebär att om sändaren eller mottagaren rör sig kommer det osäkerhetsområde som beskrivs av felellipsen att ändra sig i takt med förflyttningen. För att undvika detta är det vanligt att istället beskriva osäkerhetsområdet med en cirkel eller i det tredimensionella fallet en sfär. Området för den cirkel respektive sfär som innehåller 50 % av mätvärdena kallas då för "Circular Error Probable" (CEP) respektive "Spherical Error Probable" (SEP). Fortfarande gäller dock att cirkelns och sfärens storlek är geometriberoende men "formen" blir intakt. I det endimensionella fallet kallas gränsen för 50 %-värdet för Linear Error Probable (LEP).

Ett annat mycket vanligt statistiskt mått är det s.k. "dRMS"-värdet (dRMS = distance Root Mean Square). Det definieras som roten ur summan av kvadraterna på felellipsens stor- respektive lillaxlar enligt sambandet:

$$dRMS = \sqrt{\sigma x^2 + \sigma y^2}$$

Den cirkelyta som nu erhålls blir större än ytan för den motsvarande felellipsen och ökar i storlek ju ovalare form ellipsen har. Detta är det pris man får betala för att man på ett enkelt sätt skall kunna lägga ut osäkerhetsområdet.

Emellertid känner man i regel inte värdena på felellipsens axlar σx och σy .

Approximativt kan man då enklast beräkna dRMS-felets radie genom att utgå från respektive ortlinjes standardavvikelse σ_1 respektive σ_2 och skärningsvinkeln Θ mellan ortlinjerna (se figur B 2.3). Matematiskt kan man nu härleda följande samband för felradien dRMS:

$$dRMS = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{\sin \Theta}$$

I formeln förutsätts att felen i de båda skärande ortlinjerna är okorrelerade, vilket oftast är fallet. Vid korrelation tillkommer en tredje term inom rotuttrycket som beskriver sambandet, dvs. korrelationen, mellan de båda ortlinjefelen.

Generellt gäller att inom en cirkel med radien dRMS kommer att finnas 63-68 % av gjorda positionsbestämningar. Variationen i procent beror på

förhållandet mellan de båda ortlinjefelens spridningsvärden. Inom radien 2 dRMS kommer av motsvarande skäl 95-98 % av uppmätta positioner att befinna sig. Approximativt kan man betrakta 2 dRMS –värdet som felradien för 95 % cirkeln.

Önskvärd standardisering av sannolikhetsmått

Inom radionavigeringsområdet är det av vikt att använda ett standardiserat, gemensamt sannolikhetsmått för att lättare kunna jämföra olika systems prestanda med varandra. I såväl den amerikanska som den europeiska radionavigeringsplanen föreslås att 95 %-värdet skall vara det sannolikhetsmått som standardmässigt bör anges. Det syns fördelaktigt att vi följer samma norm i arbetet även med den svenska planen.

Huvudtyper av fel

Varje observation eller mätning är behäftad med ett visst fel eller osäkerhet som enligt ovanstående mall kan definieras med ett tal och ett sannolikhetsmått. Man skiljer härvid normalt mellan tre huvudtyper av fel:

- Systematiska fel
- Tillfälliga fel
- Grova fel

Systematiska fel utgör de fasta fel som kan kartläggas och kompenseras.

Tillfälliga fel är varierande fel som inte kan förutses. Dessa fel kan inte kalibreras bort men effekten av tillfälliga fel kan under vissa förutsättningar reduceras.

Grova fel är oförutsedda fel av allvarlig karaktär som oftast beror på den mänskliga faktorn.

Det totala felet utgör vektorsumman av dessa fel.

Huvudtyper av noggrannhet

Ett systems noggrannhet är ett kvalitetsmått som anger i vilken grad systemets mätvärden överensstämmer med verkligheten.

Begreppet noggrannhet kan uppdelas i tre huvudtyper:

- Global noggrannhet. En positions noggrannhet med avseende på en på jordytan definierad geografisk eller geodetisk koordinat. På engelska "Predictable accuracy", dvs. förutsebar noggrannhet. Ibland förekommer uttrycket "absolut noggrannhet" för att beteckna detta mått.
- Repeterbarhet. Den noggrannhet med vilken en brukare kan återvända till en position som tidigare angivits av samma navigeringssystem. På engelska "Repeatability" eller "Precision".
- Relativ noggrannhet. Den noggrannhet med vilken en brukare kan ange sin position relativt en annan brukare med samma navigeringssystem och vid samma tid. På engelska "Relative accuracy".

Normalt grupperas noggrannheten med hänsyn till aktuell dimension:

Endimensionell (linjär) noggrannhet avser mätningar i en dimension. T.ex. avståndsmätning i en viss riktning.

Tvådimensionell noggrannhet används för positionsangivelser på en yta. Noggrannheten anges som radien i en cirkel centrerad i "sann position" och som i t.ex. 95 % -fallet innehåller minst 95 % av antalet observationer.

Tredimensionell noggrannhet används för positionsangivelser i ett tredimensionellt koordinatsystem. Noggrannheten anges som radien i en sfär med centrum i "sann position" och som i t.ex. 95 % -fallet innehåller minst 95 % av antalet observationer.

I samtliga ovanstående fall bör standardmässigt 95 % -värdet om möjligt anges.

Om andra mått förekommer torde någon av nedan angivna omräkningsfaktorer normalt kunna användas:

Endimensionella fallet

För att komma till 95 %-värdet multiplicera

Ett sigma (1σ) med 1.96

Två sigma (2σ) med 0.98

Tre sigma (3σ) med 0.65

LEP (50 %-värdet) med 2.91

(LEP= Linear Error Probable)

(Ett sigma eller RMS (Root Mean Square), 68 % värde)

Tvådimensionella fallet

För att komma till 95 % -värdet multiplicera

dRMS (ca 68 %-värde) med 1.8

2 dRMS (ca 95 %-värde) med 0,9

CEP (50 %-värdet) med 2.3

(dRMS = distance Root Mean Square, 63-68 %)

(2 dRMS = 2 * dRMS, 95-98 %)

(CEP=Circular Error Probable)

Tredimensionella fallet

För att komma till 95 %-värdet multiplicera

SEP (50 %-värdet) med 2.0

(SEP=Spherical Error Probable)

Givna omräkningsfaktorer (som alltså gäller enbart inom en och samma dimension) är inte alltid helt exakta men normalt tillräckligt bra för att medge jämförelse mellan system vars positionsfel är angivna i olika sannolikhetsmått.

Omräkning från endimensionell noggrannhet till två eller flerdimensionell noggrannhet är också möjlig men kräver att man då känner till de geometriska faktorer som karakteriserar det aktuella navigeringssystemets ortlinjestruktur på jordytan eller i rymden.

BILAGA 3 INTERNETLÄNKAR

ARGOS	http://www.argos-system.org
COSPAS/SARSAT	http://www.sarsat.noaa.gov
ECDIS	http://www.openecdis.org/
EPOS	http://www.cartesia.se/epos , http://www.cartesia.se/
EUROFIX	http://www.eurofix.tudelft.nl/
EU-projekt GLORIA	http://www.eu-gloria.org
FUGRO OmniSTAR	http://www.omnistar.com
FUGRO Seastar	http://www.seastar.co.uk/
GALILEO	http://www.europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/
GLONASS	http://www.glonass-center.ru/frame_e.html
GPS	http://navcen.uscg.gov , http://www.navcenter.org
IAIP (LFV publikation)	http://www.lfv.se/site/pilot_info/air_traffic_society/library/aip/
IAIP (LFV publikation)	http://www.lfv.se/templates/LFV_InfoSida_70_30____2555.asp
IALA	http://www.iala-aism.org
INMARSAT	http://www.inmarsat.com/
LORAN-C	http://www.megapulse.com/table.html
NELS	http://www.nels.org/
ORBCOMM	http://www.orbcomm.com/
Post- och Telestyrelsen	http://www.pts.se
SWEPOS	http://www.swepos.com
TILS (Telephonics)	http://www.telephonics.com/
Transponder (GP&C)	http://www.gpc.se/

BILAGA 4 LITTERATURHÄNVISNING

- 1 ”Radionavigeringsplan för Sverige 2003”, Sjöfartsverket 2003
- 2 ”2001 Federal Radionavigation Plan”, Department of Defense (DoD) and Department of Transportation (DoT), USA
- 4 "Norsk RadioNavigasjonsPlan - NRNP 2003",
Fiskeridepartementet januari 2003