

Introduktion till GNSS



Ett samarbetsprojekt mellan

Banverket
Lantmäteriet
Vägverket

Christina Lilje, Andreas Engfeldt
Lotti Jivall

Gävle 2007

LANTMÄTERIET





Copyright ©

2007-09-25

Författare: Christina Lilje, Andreas Engfeldt och Lotti Jivall

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 72

LMV-Rapport 2007:11 – ISSN 280-5731

Introduktion till GNSS



Ett samarbetsprojekt mellan

Banverket
Lantmäteriet
Vägverket

Christina Lilje, Andreas Engfeldt
Lotti Jivall

Gävle 2007

LANTMÄTERIET



Förord

Första versionen av den här rapporten togs fram 2000 i ett samarbetsprojekt mellan Lantmäteriet, Banverket och Vägverket. Andreas Engfeldt och Lotti Jivall på Geodetiska utvecklingsenheten vid Lantmäteriet ställde samman rapporten med stöd och synpunkter från övriga i projektet [Kort introduktion till GNSS, LMV-rapport 2000:2]. Rapporten omarbetades 2003 och sammanställdes av Andreas Engfeldt [Så fungerar GNSS, LMV-rapport 2003:10].

Denna utgåva är en revidering av de två tidigare utgåvorna och ersätter alltså dessa. Förändringarna har sammanställts av Christina Lilje.

Läsanvisning

I den här skriften presenteras de olika satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystemen och en del stödsystem till dem. Vidare tas mätmetoder och noggrannheter upp, liksom exempel på olika tillämpningar.

Rapporten är avsedd som en introduktion till satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem, GNSS – Global Navigation Satellite Systems. Framför allt beskrivs GPS, som är det enda GNSS som är fullt operationellt i dag (2007). Rapporten kompletterar även den serie OH-bilder som tagits fram.

Rapporten och OH-serien är ett grundläggande material för GNSS-kurser. Bildserien består av bilder på tre nivåer. Bilderna på den övergripande nivån (1, 2, 3 osv.) kan användas för sig, men om bilderna på mellannivån eller den detaljerade nivån ska användas, bör också bilderna på nivåerna över användas och då i ordningen 1, 1.1, 1.1.1, 1.1.2, 1.2, 1.2.1 osv.

Ytterligare kunskapsinformation återfinns på "anteckningssidorna" i OH-serien, speciellt på den mest detaljerade nivån.

Begrepp som är fackterminologi finns i de allra flesta fallen förklarade i ordlistan (Bilaga 1).

Introduktion till GNSS

Förord		5
Läsanvisning		5
1	Inledning	9
2	Satellitsystem	10
2.1	GPS	10
2.1.1	Satellitsignalen	12
2.1.2	GPS-tjänster för absolut mätning	14
2.1.3	GPS i framtiden	14
2.2	GLONASS	17
2.2.1	Satellitsignalen	18
2.2.2	GLONASS-tjänster för absolut mätning	19
2.2.3	GLONASS i framtiden	20
2.3	Galileo	20
2.3.1	Satellitsignalen	24
2.3.2	Galileo-tjänster för absolut mätning	24
2.4	Compass Navigation Satellite System	26
2.5	Regionala system	26
2.6	Information om GNSS	27
3	Mätmetoder	29
3.1	Kodmätning	29
3.2	Bärvågsmätning	30
3.3	Bärvågsunderstödd kodmätning	31
4	Positionsbestämningsmetoder	32
4.1	Absolut positionsbestämning	32
4.2	Relativ positionsbestämning	33
4.2.1	DGPS	34
4.2.2	Nätverks-DGPS	34
4.2.3	RTK	34
4.2.3.1	Enkelstations-RTK	35

4.2.3.2	Nätverks-RTK	36
4.3	Statisk positionsbestämning	36
5	Utrustning	38
6	Faktorer som påverkar resultatet	40
6.1	Satellitillgänglighet	40
6.2	Signalkvalitet och satellitgeometri	42
6.3	Sikthinder	43
6.4	Antenn	43
6.5	Flervägsfel	44
6.6	Banddata	44
6.7	Atmosfären	45
6.7.1	Jonosfären	45
6.7.2	Troposfären	46
7	Stödsystem	48
7.1	Svenska stödsystem	49
7.1.1	SWEPOS	49
7.1.2	SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst	50
7.1.3	SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst	51
7.1.4	Epos	51
7.1.5	Sjöfartsverkets DGPS-tjänst	52
7.2	Internationella stödsystem	52
7.2.1	OmniSTAR och Veripos	52
7.2.2	EGNOS	52
7.2.3	Övriga SBAS	53
7.2.4	IGS och EUREF	53
8	Referenssystem	55
8.1	SWEREF 99	55
9	Tillämpningar	57
9.1	Navigering/lokalisering	57
9.2	Positionsbestämning/positionering	57
9.3	Tidsbestämning	58
10	Referenser	60
	Bilaga 1: Ordlista	62

Introduktion till GNSS

1 Inledning

Satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem, GNSS, har genom det amerikanska systemet GPS – Global Positioning System – fått en betydande roll inom många områden under den senaste 10-15-årsperioden. I början användes GNSS (GPS) mest för navigation till sjöss och i luften, men landnavigering har blivit allt vanligare. GNSS-mottagare ingår i många moderna bilar och mobiltelefoner. Inom några år kommer GNSS vara var persons egendom och lika vanligt som mobiltelefoner, både yrkesmässigt och på fritiden.

För att möta höga civila integritets- och noggrannhetskrav har stödsystem utvecklats och nya är på gång. Även ett helt nytt GNSS, det europeiska Galileo, är under utveckling. GLONASS är under återuppbyggnad och moderniseras liksom GPS, så att noggrannheten och tillförlitligheten förbättras.

Förutom för navigering används GNSS till en rad tillämpningar med varierande noggrannhetskrav, t.ex. inmätning till GIS, geodetisk stommätning, maskinguidning, deformationsmätning, meteorologiska studier och tidssynkronisering. Utbyggnad av stödsystem för realtidsmätning med centimeternoggrannhet (s.k. nätverks-RTK) pågår och kommer att utöka och förenkla användningen i denna noggrannhetsklass.

Noggrannheten vid användning av GNSS är beroende av de faktorer som nämns i avsnitt 5 och 6. Generellt gäller att noggrannheten i höjdled är ungefär 1,5 gånger sämre än i plan.

2 Satellitsystem

Det första GNSS som förklarades operationellt (1993) var det amerikanska systemet GPS. Några år senare (1996) blev det ryska systemet GLONASS operationellt. GLONASS har dock inte haft full konstellation sedan dess men är under återuppbyggnad. Både GPS och GLONASS är i grunden militära system men kan dock utnyttjas av civila användare. För några år sedan togs ett europeiskt beslut att bygga upp ytterligare ett system, Galileo, som i grunden är helt civilt.

I detta avsnitt beskrivs dessa tre satellitsystem, deras uppbyggnad, status, tjänster och framtidsutsikter.

Det förekommer även planer på att etablera GNSS i andra delar av världen, i t.ex. Japan, Indien och Kina. Dessa system beskrivs endast summariskt.

Befintliga GNSS-satelliter går i banor runt jorden på ca 20 000 km:s avstånd från jordytan, vilket innebär att de är MEO (Medium Earth Orbit). Kommunikationssatelliter m.m. som går på mycket lägre höjd (upp till 2 000 km) brukar betecknas LEO (Low Earth Orbit). Ett specialfall är GEO (GEostationary Orbit), vilket innebär att satelliten läggs på ca 35 786 km:s höjd över ekvatorn. Den följer då med jordrotationen och får ett konstant täckningsområde på jorden.

2.1 GPS

GPS eller Navstar GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) är ett satellitbaserat navigations- och positionsbestämningssystem med global täckning. Det är uppbyggt av det amerikanska försvaret, som också förvaltar systemet. Policyn runt och planerna för GPS (och andra navigationssystem) finns beskrivna i USA:s radionavigeringsplan [DoD och DOT, 2005]. Även den svenska radionavigeringsplanen beskriver GPS tillsammans med andra GNSS och andra navigationssystem [Sjöfartsverket m.fl., 2006].

GPS-projektet startades 1973. Den första GPS-satelliten sköts upp 22 februari 1978. Systemet var klart att använda för civila ändamål (IOC = Initial Operational Capability) 1993, och 1995 nådde det också upp till de specificerade kraven för militära tillämpningar (FOC = Full Operational Capability). GPS har nu betydligt fler civila användare än militära.

GPS kan användas gratis, d.v.s. det finns inga användaravgifter.

GPS ger möjlighet till positionsbestämning över hela världen, dygnet runt, oberoende av väder, i realtid. Dess utformning innebär att det finns minst 4 satelliter tillgängliga (över 5 graders elevation) jorden runt under 99,9 procent av tiden. Det amerikanska försvaret garanterar 24 satelliter totalt, oftast finns det fler satelliter, t.ex. 30 stycken i september 2007. Livslängden för dem är specificerad till 7,5-10 år, beroende vilken generation de tillhör. Nästa generations satelliter, GPS IIF, har en specificerad livslängd på 15 år.

GPS-satelliterna cirkulerar ca 20 200 km ovanför jordytan och är fördelade på 6 banplan med 55 graders inklinations, d.v.s. kort uttryckt vilken latitud som satelliterna vänder vid. Det är ungefär vid Bornholms sydspets. Omloppstiden 11 timmar och 57,97 minuter innebär att samma satellitkonstellation återupprepas cirka 4 minuter tidigare varje dygn sett från jorden.

Satelliterna styrs och kontrolleras av det s.k. kontrollsegmentet. Kontrollsegmentet består för närvarande (september 2007) av 14 markbaserade kontrollstationer (inklusive driftledningscentralen i Colorado Springs) som kontinuerligt registrerar signalerna från alla satelliter som befinner sig ovanför respektive stations horisont. Data från stationerna sänds till driftledningscentralen i Colorado Springs, där satelliternas banparametrar och korrektioner till satellitklockorna beräknas och förutsägs (predikteras) framåt i tiden. De framräknade värdena sänds sedan upp till satelliterna från någon av de kontrollstationer som också är matarstationer. Vid behov kan även någon satellit flyttas.

Ur användarens synvinkel är GPS ett envägssystem, satelliterna sänder och användarna tar emot. Mellan kontrollsegmentet och satelliterna finns en tvåvägskommunikation.

Positionen från GPS fås i referenssystemet WGS 84. Tiden refererar till UTC(USNO) som erhålls från U.S. Naval Observatory. Till skillnad mot UTC så påförs inga skottsekunder i GPS-tid. Därför skiljer GPS-tid och UTC några sekunder.

För numreringen av satelliterna används dels SVN (Space Vehicle Number), dels PRN (Pseudo Random Noise), där PRN-numret är det som vanligtvis används. Varje uppskjuten satellit sedan 1978 har fått ett unikt SVN-nummer, medan PRN är en uppsättning av 32 unika koder som signalmässigt används för att särskilja satelliterna. GPS är således ett GNSS som använder kodåtskillnad (CDMA=Code Division Multiple Access) av satelliterna. PRN-koderna 33-60 är reserverade, men för att kunna använda dessa behövs nästa generation av det operationella kontrollsystemet (som kallas OCX),

vilket inte torde vara klart före 2012. Tills vidare är således GPS begränsat till 32 aktiva satelliter för att varje ska få en unik PRN-kod.

Sedan den första uppskjutningen 1978 har satelliterna moderniserats i olika etapper. De olika modellerna brukar skiljas åt med en s.k. block-beteckning, se tabell 1. Nu står man inför en ganska stor förändring med flera nya signaler, se avsnitt 2.1.3.

Block	Uppskjutn. år	Totalt antal	Antal i drift	L1 C/A	L1 C	L1 P(Y)	L1 M	L2 C	L2 P(Y)	L2 M	L5
I	1978-1985	11	0	X		X			X		
II	1989-1990	9	0	X		X			X		
IIA	1990-1997	19	15	X		X			X		
IIR	1997-2004	13	12	X		X			X		
IIR-M	2005-	8 ¹	3	X		X	X	X	X	X	
IIF	2008-			X		X	X	X	X	X	X
III	~ 2013			X	X	X	X	X	X	X	X
Summa	1978-	55	30								

Tabell 1: Antalet GPS-satelliter genom tiderna och hur många som är i drift i dag (september 2007). ¹Varav fem inte är uppskjutna än.

2.1.1 Satellitsignalen

Satelliterna sänder ut signaler på två olika frekvenser, nämligen L1 (1575.42 MHz, vilket motsvarar våglängden 19 cm) och L2 (1227.60 MHz, vilket motsvarar våglängden 24 cm). Bär vågorna (L1 och L2) är modulerade med koder, bl.a. för att kunna skicka satellitmeddelanden. Meddelandet innehåller nödvändig information för att kunna beräkna satellitens position och satellitklockans korrekationer (banddata, satellitklockparametrar, satellithälsa m.m.). Koderna består av en sekvens med de binära värdena 0 och 1 som styr en förändring på bärvågen. Varje värde motsvarar ett s.k. chip (eller bit). Varje satellit har en unik kod men sänder på samma frekvens.

På L1-frekvensen sänds både s.k. P(Y)-kod (Precision) och s.k. C/A-kod (Coarse / Acquisition). Alla satelliterna sänder även P(Y)-kod på

L2-frekvensen. I dag (september 2007) sänder tre av satelliterna dessutom en s.k. C-kod på L2 (L2C) samt M-kod på både L1 och L2.

C/A-koden, som är tillgänglig för civila användare, består av 1 023 chips, sänds med frekvensen 1,023 MHz och upprepas efter en millisekund. Våglängden motsvarar ca 300 m.

Den nya civila signalen, L2C, innehåller två koder med olika längder, CM och CL. Frekvensen och våglängden är samma som för C/A-koden. CM består av 10 230 chips och upprepas efter 20 millisekunder och CL är 767 250 chips lång och upprepas efter 1,5 sekunder. Anledningen till valet av en ny typ av kod var att undvika C/A-kodens nackdelar, som problem med interferens mellan starka och svaga GPS-signaler samt svårigheter att mäta på svaga signaler. Den nya signalen kommer att underlätta mätning i besvärliga miljöer, som t.ex. skog och inomhus.

P(Y)-koden består av $2,3547 \times 10^{14}$ chips, sänds med frekvensen 10,23 MHz och upprepas efter 267 dagar. Våglängden motsvarar ca 30 m. P-koden är endast tillgänglig för amerikanska försvaret och dess allierade. P-koden är sedan 1993 krypterad till Y-kod, vilket kallas för A-S (Anti-Spoofing). Anledningen är att USA och dess allierade inte vill riskera att en fiende återskapar P-koden och på så sätt kan vilseleda dem. Tillverkarna av civila mottagare har dock olika koncept för att kunna utföra bärvågsmätningar på L2-frekvensen utan tillgång till krypteringskoden.

M-koden som finns på L1 och L2 fr.o.m. GPS IIR-M är liksom P-koden krypterad och är endast tillgänglig för det amerikanska försvaret och dess allierade. M-koden sänds med frekvensen 5,115 MHz och våglängden motsvarar ca 60 m. M-koden är spektralt skild från de civila signalerna på L1 och L2. Eftersom P(Y)-koden är relativt lång krävs att mottagaren först låser på C/A-koden för att få tiden och en ungefärlig position för att sedan kunna låsa på P(Y)-koden. Med tillgång till M-koden behöver en militär mottagare inte längre mäta på C/A-koden.

Den kommande civila signalen på L5 kommer att innehålla två lika långa koder, I och Q. Frekvensen är 1176, 45 MHz och våglängden är lika som för C/A-koden. Koderna består av 10 230 chips och upprepas varje millisekund.

L1 1575,42 MHz 19 cm	C/A-kod 1,023 MHz 300 m		Satellit- meddelande	P (Y)-kod 10,23 MHz 30 m	M-kod ¹ 5,115 MHz 60 m
L2 1227,60 MHz 24 cm		C-kod ¹ 1,023 MHz 300 m	Satellit- meddelande	P (Y)-kod 10,23 MHz 30 m	M-kod ¹ 5,115 MHz 60 m

Tabell 2: GPS-signalens struktur. ¹ Majoriteten av satelliterna saknar denna kod i dag (september 2007). Det finns dock redan tre satelliter som har den nya civila koden på L2, se avsnitt 2.1.3).

2.1.2 GPS-tjänster för absolut mätning

GPS har två olika tjänster, SPS och PPS, med olika tillgång till signaler och noggrannheter vid absolut mätning (se avsnitt 4.1).

SPS-tjänsten (Standard Positioning Service) är avsedd för civilt bruk. Den ger tillgång till C/A-, C-kod och bärvåg för L1 och L2, samt till satellitmeddelandet. Positionsnoggrannheten (95 %) är specificerad till 13 m horisontellt, 22 m vertikalt, samt 40 nanosekunder relaterat till UTC (95 %) vid tidsöverföring.

PPS-tjänsten (Precise Positioning Service) ger förutom tillgång till innehållet i SPS även tillgång till krypterad P-kod (Y-kod) och M-kod för både L1 och L2. Denna tjänst är avsedd för militär användning av USA och USA:s allierade, men den kan tillhandahållas civilt för dem som uppfyller USA:s nationella säkerhetskrav. Den exakta noggrannheten är ännu så länge hemlig.

2.1.3 GPS i framtiden

När GPS förklarades operativt även för militära ändamål (FOC) i mitten av 1995 uppnåddes de ursprungliga målen. Ganska snart påbörjades planerna på att modernisera GPS. Målet med moderniseringen av GPS är att förbättra noggrannheten och tillgängligheten för alla användare. Förutom flera nya signaler ingår även en utbyggnad av markstationsnätet. Dessutom har det diskuterats en del kring utökning av antalet satelliter.

Enligt ett pressmeddelande från USA:s president 1996 skulle SA (Selective Availability) tas bort någon gång mellan 2000 och 2006. SA var en avsiktlig försämring av noggrannheten som aktiverades 1991. Borttagandet av SA var det första steget i moderniseringen av GPS och skedde den 1 maj 2000. I mars 1998 kom ett nytt pressmeddelande med beslut om att GPS skulle förses med en ny

civil signal på L2. I januari 1999 meddelade man planerna på en tredje civil signal (L5).

Den första nya civila signalen, L2C, finns redan på de satelliter som skickats upp sedan 2005, block IIR-M. Dessutom finns det två nya militära signaler (M-kod) på L1 och L2 på dessa satelliter. L5 kommer att införas på nästa generations satelliter, Block IIF, med första planerade uppskjutningen i slutet av 2008.

För att säkerställa interoperabiliteten med Galileo framöver så kommer ytterligare en civil signal att läggas till, C-kod på L1. Detta kommer att ske när Block III-satelliterna börjar skickas upp, omkring år 2013. Man kommer dock att behålla C/A-koden på L1 för att behålla bakåtkompatibiliteten.

L1 1575,42 MHz 19 cm	C/A-kod 1,023 MHz 300 m	C-kod 1,023 MHz 300 m	Satellit-meddelande	P (Y)-kod 10,23 MHz 30 m	M-kod 5,115 MHz 60 m
L2 1227,60 MHz 24 cm		C-kod 1,023 MHz 300 m	Satellit-meddelande	P (Y)-kod 10,23 MHz 30 m	M-kod 5,115 MHz 60 m
L5 1176,45 MHz 25,5 cm		Kod 10,23 MHz 30 m	Satellit-meddelande		

Tabell 3: Satellitsignalen i framtiden (de fyra vänstra kolumnerna är civilt tillgängliga signaler, de två högra är militära signaler).

Utan tillgång till krypteringskoden för P(Y)-koden krävs det i dag en relativt komplicerad och kostsam teknik för att kunna mäta på bärvågen på L2-frekvensen. Tillverkarna av civila mottagare har olika koncept (patenterade) för detta. Med den nya civilt tillgängliga signalen på L2 behövs dock inte denna teknik för att kunna mäta på bärvågen på L2. För att kunna undvika det helt krävs dock att samtliga satelliter har den nya signalen.

Införandet av L2C innebär framför allt att noggrannheten vid absolut mätning med en tvåfrekvensmottagare ökar eftersom mätning på både L2C och L1C/A medför att jonosfärens inverkan kan korrigeras direkt i mottagaren.

Den största anledningen till tillkomsten av en tredje civil frekvens (L5) är att säkerställa användningen av GPS i tillämpningar som har direkt betydelse för människors säkerhet, inom t.ex. civil luftfart.

Införandet av L5 kommer framför allt att öka tillförlitligheten. Flera tillämpningar kan dock dra nytta av L5. Vid bärvågsmätning kommer intialiseringstiden (tid till fixlösning se avsnitt 3.2) att minska med tillgång till tre civila frekvenser. Vid RTK-mätning (se avsnitt 4.2.3) kommer avståndet mellan referensstationerna kunna ökas med bibehållen noggrannhet.

Nu och de närmaste åren kan endast tvåfrekvensutrustning dra nytta av fördelarna med en ny civil signal på L2. När antalet satelliter med den nya signalen på L2 närmar sig 24 förväntas en utveckling av enfrekvensmottagare som mäter enbart på L2C.

I framtiden kommer tillverkare av GPS-utrustning att kunna välja mellan fyra olika civila signaler. Om alla signaler utnyttjas kan man dra nytta av alla signalernas olika egenskaper. För enfrekvensmottagare blir dock inte valet helt självklart utan beroende på tillämpning. Som exempel kan nämnas att L1 påverkas minst av jonosfären och L2C är minst känslig för interferens mellan starka och svaga signaler. Med L2C är det möjligt att mäta på mycket svaga signaler, vilket ökar möjligheten att mäta i t.ex. tät skog och eventuellt även inomhus. L5 kommer att ha högst signalstyrka och vara mindre störcänslig än övriga civila signaler.

Aktivitet	Datum
Borttagande av SA	Maj 2000
Andra civila signalen, C-kod på L2, samt M-kod på L1 & L2 <ul style="list-style-type: none"> • 1:a satelliten • FOC (24 satelliter) 	2005 ~ 2014
Tredje civila signalen på L5 <ul style="list-style-type: none"> • 1:a satelliten • FOC (24 satelliter) 	~ 2008 ~ 2016
Fjärde civila signalen, C-kod på L1 <ul style="list-style-type: none"> • 1:a satelliten • FOC (24 satelliter) 	~ 2013 ~ 2021

Tabell 4: Tidsplan för moderniseringen av GPS, presenterad på "CGSIC ISC European Meeting" i Genève i maj 2007.

En utökning av antalet satelliter till över 30 har diskuterats, men inget beslut finns. P.g.a. problem med satelliternas PRN-numrering med nuvarande kontrollsystem (se avsnitt 2.1) är GPS för närvarande

begränsat till 32 aktiva. Införandet av det nya kontrollsystemet omkring 2012 kan innebära en utökning av antalet satelliter.

Då det vidare funnits osäkerhet om GPS klarar en konstellation av 32 aktiva satelliter och om GPS-mottagare kan klara 32 eller t.o.m. bara 31 PRN-koder, så har USA utfört tester under vintern 2006-2007.

Antalet kontrollstationer håller på att utökas för att få en så bra global täckning som möjligt. De ursprungliga 5-6 kontrollstationerna har utökats till 14 (september 2007) och ytterligare tre är planerade.

2.2 GLONASS

GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) är ett ryskt system med global täckning och som i grunden är militärt. Formellt står ryska försvarsministeriet (Russian ministry of Defence) som ägare medan ansvaret för drift och underhåll ligger hos Federal Space Agency (Roscosmos). Projektet startades 1976 och den första satelliten sköts upp 12 oktober 1982. Systemet ska egentligen innehålla 24 satelliter (21 + 3 i reserv), men har endast gjort det under en kortare period under 1996. Livslängden för de äldre satelliterna var kort, vanligen 2-3 år. Detta, i kombination med begränsad ekonomi för nya uppskjutningar, gjorde att antalet satelliter successivt minskade rejält. Under stora delar av 2001-2003 var antalet satelliter nere i åtta. Som minst var det sex stycken under en kortare period 2001. För närvarande (september 2007) finns 11 operationella satelliter plus en som sköts upp 25 december 2006 som inte tagits i bruk än.

GLONASS-satelliterna cirkulerar 19 100 km ovanför jordytan och är fördelade på 3 banplan med inklinationen 64,8 grader. Satelliterna vänder alltså ungefär vid Skellefteå. Därmed skulle GLONASS täcka in Sverige på ett bättre sätt än GPS (jfr Skellefteå och Bornholms latitudläge) om systemet hade varit fullt utbyggt. Omloppstiden är 11 timmar och 15,73 minuter. Samma satellitkonstellation sett från jorden uppträder var 8:e dag.

Kontrollsegmentet för GLONASS finns i sin helhet inom det forna Sovjetunionens territorium. Följden blir att det kan dröja flera timmar innan felaktiga satelliter kan upptäckas och åtgärdas.

En förbättrad version av det geodetiska referenssystemet PZ-90 kallad PZ-90.02 infördes i september 2007. Detta är knutet till ITRF (International Terrestrial Reference Frame), vilket även WGS 84 och GTRF (se avsnitt 2.3) såväl som det svenska referenssystemet SWEREF 99 är. Tiden i GLONASS refererar till UTC(SU) som erhålls från Russian Institute of Metrology for Time and Space. Till skillnad

mot GPS så är referenstiden för GLONASS inte kontinuerlig eftersom skottsekunder läggs till. Vid mätning med kombinerade GPS/GLONASS-mottagare korrigerar mottagarens programvara för skillnad i tid och referenssystem och presenterar positionerna i WGS 84 och GPS-tid.

Block	Uppskjutn. år	Beräknad livstid	Totalt antal	Antal i drift	L1 C/A	L1 P	L2 C/A	L2 P	L3
I (Prototype)	1982-1985	1 år	18	0					
Ia (Glonass)	1985-1986	1 år	6	0	X	X		X	
Ib (Glonass)	1987-1988	2 år	12	0	X	X		X	
Iv (Glonass)	1988-2005	3 år	25	6	X	X		X	
Glonass-M	2001-2008	7 år	8 (14) ¹	6 ²	X	X	X	X	
Glonass-K	2008-	10-12 år		0	X	X	X	X	X
Summa	1982-		69 (75) ¹	12 ²					

Tabell 5: Antalet uppskjutna GLONASS-satelliter genom tiderna och hur många som är i drift i dag (september 2007). ¹Planerat antal satelliter. ²En av de tre GLONASS-M-satelliterna som sköts upp 25 december 2006 är ännu inte aktiv.

2.2.1 Satellitsignalen

Signalen för GLONASS är snarlik signalen för GPS, men det finns en del skillnader. GPS-satelliterna har unika koder till skillnad mot GLONASS-satelliterna som alla har samma kod men sänder på olika frekvenser. Från början var det unika frekvenser för varje satellit. Det innebar att de tog upp ett stort frekvensspektrum. På senare år har frekvenser blivit alltmer efterfrågade och GLONASS har fått lämna ifrån sig några av frekvenserna. Istället delar nu två satelliter på var sin sida om jorden på en frekvens. Formeln för GLONASS-frekvenserna på L1 och L2 är:

$$L1 = 1602 + n \cdot 0,5625 \text{ MHz}$$

$$L2 = 1246 + n \cdot 0,4375 \text{ MHz}$$

Kanalnumret (n) kunde ursprungligen vara mellan 1 och 24. Intervallet har varierat under åren men numera är det mellan -7 och 13.

Koderna som finns är C/A- och P-kod och precis som för GPS finns P-koden på både L1 och L2. Liksom för GPS fanns C/A-kod ursprungligen endast på L2 men från och med generation GLONASS-M (som började skjutas upp 2003) så finns C/A-kod även på L2.

L1 1602 + $n \cdot 0,5625$ MHz 19 cm	C/A-kod 0,511 MHz 600 m	Satellit- meddelande	P-kod 5,11 MHz 60 m
L2 1246 + $n \cdot 0,4375$ MHz 24 cm	C/A-kod 0,511 MHz 600 m ¹	Satellit- meddelande	P-kod 5,11 MHz 60 m

Tabell 6: GLONASS-signalens struktur. ¹ Ungefär hälften av satelliterna saknar denna kod i dag (september 2007). Det finns dock redan sex satelliter i drift som har den nya civila koden på L2.

2.2.2 GLONASS-tjänster för absolut mätning

Även för GLONASS finns det två sorters tjänster, SP och HP, med olika tillgång till signaler och noggrannheter vid absolut mätning.

SP (Standard Precision) används för civilt bruk och har tillgång till C/A-kod och satellitmeddelande. Positionsnoggrannheten (99,7 %) är specificerad till 50-70 m horisontellt, 70 m vertikalt, samt till 1 mikrosekund relaterat till UTC vid tidsöverföring.

HP (High Precision) är avsedd för militära ändamål och har förutom tillgång till C/A-kod och satellitmeddelande även tillgång till P-koden.

Till skillnad mot GPS har det aldrig funnits någon medveten försämring av noggrannheten, likt SA för GPS. P-koden har heller aldrig varit krypterad men publicerades egentligen aldrig officiellt. Den har dock varit känd inom vetenskapvärlden länge. Därmed har det i praktiken inte varit någon skillnad för militära och civila användare. Däremot har Federal Space Agency (Roscosmos) förbehållit sig rätten att ändra koden när som helst, vilket ledde till att många instrumenttillverkare var försiktiga med att implementera P-koden i mottagarna. I november 2006 tillkännagav dock försvarsministern Sergey Ivanov att HP-tjänsten (med tillgång till P-koden) skulle bli tillgänglig för civila användare under 2007.

2.2.3 GLONASS i framtiden

Under flera år var underhållet av GLONASS bristfälligt. Man hade stora problem att följa planerna på modernisering av systemet. Uppskjutningarna av nya satelliter skedde inte i samma takt som de slutade att fungera. Mycket berodde på den korta livslängden av den första generationens satelliter som var 1-3 år. I och med introduktionen av nästa generations satelliter, GLONASS-M, har satelliternas beräknade livslängd ökat till 7 år. Den första satelliten av GLONASS-M, som betecknas som en prototyp av denna generation, sändes upp 2001 och på dessa finns även C/A-kod på L2.

Framtiden för GLONASS ser ljusare ut efter att president Vladimir Putin under 2006 lämnade två direktiv rörande GLONASS. Dessa fastslog bl.a. att det ska finnas minst 18 satelliter i slutet av 2007 och minst 24 satelliter i slutet av 2009. GLONASS ska också vara jämförbart med GPS och Galileo 2010.

För att nå upp till 18 satelliter i slutet av 2007 finns två planerade uppskjutningar under 2007, en i oktober och en i december. Vid varje tillfälle sänds tre satelliter upp.

Nästa generations satelliter, GLONASS-K, kommer att börja skickas upp 2008/2009. Den beräknade livslängden är utökad till 10 år och vikten är reducerad så att 6 satelliter ska kunna skjutas upp samtidigt, jämfört med 3 i dag.

Det är redan bestämt att GLONASS-K kommer att ha en ny civil signal kallad L3, vilken kommer att vara interoperabel med Galileos E5b. Man har även preliminärt beslutat att modernisera GLONASS-K-satelliterna med två nya signaler (motsvarande de planerade signalerna L5 och L1C för GPS). Signalstrukturen för dessa nya signaler kommer att likna den för GPS och Galileo, d.v.s. samma frekvens men olika kod för varje satellit.

Dessutom kommer antalet kontrollstationer att utökas under 2009.

I januari 2004 inledde Russian Space Agency (RSA) ett samarbete med indiska motsvarigheten, Indian Space Research Organization. De kommer att vara med och dela på utvecklingskostnaderna av den nya generationens satelliter.

2.3 Galileo

Galileo är ett planerat europeiskt system med global täckning som i grunden ska vara civilt. Systemet ska vara kompatibelt med GPS och GLONASS. Galileo befinner sig i en utvecklings- och valideringsfas. I juni 1999 togs ett beslut om att påbörja definitionsfasen och beslut

om att utvecklingsfasen kunde börja togs i mars 2002. Systemet planeras vara fullt utbyggt 2012.

En av anledningarna till att EU utvecklar Galileo är att minska beroendet av det amerikanska systemet GPS, som i grunden är ett militärt system.

Galileo ägs av den europeiska myndighet som har skapats just för detta och som heter GSA (European GNSS Supervisory Authority), vilken styrs av EU och som har ett samarbetsavtal med den europeiska rymdstyrelsen ESA (European Space Agency). Utvecklingen av systemet görs via ett utvecklingskontrakt med ESA av ESNI (European Satellite Navigation Industries), som är en grupp med några av de stora rymdrelaterade industriföretagen i Europa. Den slutliga uppbyggnaden och driften av systemet var tänkt att handhas av GOC (Galileo Operating Company), vilket är ett konsortium av ett större antal av de stora rymdrelaterade industriföretagen i Europa. Handhavandet var sedan planerat att ske via ett s.k. privat-offentligt partnerskap (PPP) mellan GSA och GOC, där GOC skulle driva systemet med en koncession på 20 år.

Förhandlingarna mellan ägaren GSA och den tilltänkta koncessionären GOC om koncessionsavtalet har dock efter att ha legat nere sedan november 2006 nu avbrutits. En bidragande orsak till detta är att de industriföretag som ingår i GOC inte har kunnat enas inbördes om bl.a. hur riskerna ska fördelas. EU har nu kommit med ett förslag på en mer statlig finansiering, där resurser inom EU omfördelas. Oavsett hur snabbt förslaget behandlas inom EU, så finns det risk för ytterligare förseningar av Galileo-projektet.

Projektet har indelats i fyra faser, se tabell 7.

Tidsram	Fas för Galileo-projektet
1999-2003	Under den första fasen definierades systemet. För utvärderingar användes befintliga GPS-satelliter.
2003-2008	Utveckling av systemet. Första provsatelliten (Giove-A) sköts upp 28 december 2005. Uppskjutningen säkerställde frekvensområden som satelliterna ska sända på då frekvenstillståndet bara är giltigt i två år utan att det används. Satelliten används också för praktiska tester av t.ex. stabiliteten i satellitklockorna. Uppskjutningen av en andra testsatellit (Giove-B) har blivit försenad p.g.a. problem vid bl.a. systemtesten av en komponent och är nu planerad till februari 2008. Den tredje testsatelliten (Giove-A2) kommer att finnas klar att skjutas upp vid behov under andra halvan av 2008.

2004-2010	Den tredje fasen drogs i gång parallellt med den andra fasen i december 2004. Den är till för att kunna göra IOV (In Orbit Validation) av systemet, d.v.s. en utvärdering av en konstellation av fyra satelliter. Mer än 1 000 personer jobbar helt eller delvis med denna fas och mer än 400 industrikontrakt har skrivits. Målsättningen är att göra en första uppskjutning under 2009 och sedan på kort tid få upp alla fyra satelliter, varefter en sex månaders testperiod vidtar.
2010-2012	Under den fjärde och sista fasen kommer den slutliga konstellationen av 30 satelliter att byggas ut genom att de fyra IOV-satelliterna kompletteras med ytterligare 26 satelliter. Denna fas var planerad att skötas av den tilltänkta koncessionären GOC.

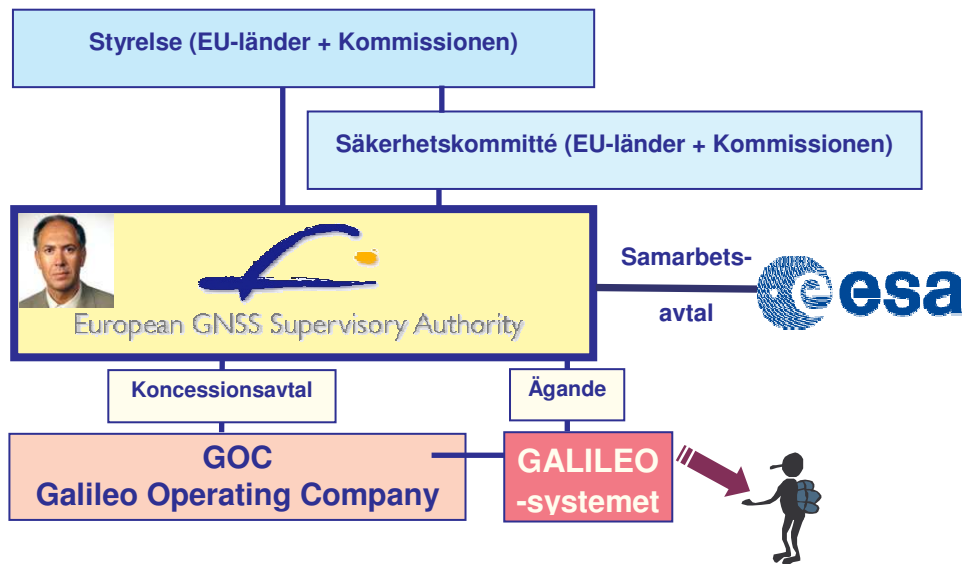
Tabell 7: De fyra huvudsakliga faserna för Galileo-projektet och de tidsramar som gäller hösten 2007. Tidsramarna för projektet har under projektets gång blivit förskjutna och det finns risk för ytterligare förseningar.

Sverige är med och påverkar Galileos tekniska utformning på ett antal olika sätt. I EU:s och ESA:s styrgrupper ingår en representant från Rymdstyrelsen. I en svensk referensgrupp som kallas vid behov ingår representanter från bl.a. Lantmäteriet, Vägverket och Banverket.

Även politiskt är Sverige varit med och påverkar Galileos utformning genom att representanter från Näringsdepartementet ingår i EU:s transportråd (Transport council).

Styrgrupperna var involverade i definitionsfasen av Galileo. De svenska representanterna verkade där för att Galileo ska fungera bra även på höga latituder.

Styrgrupperna förankrade den svenska ståndpunkten dels hos referensgruppen, dels hos Näringsdepartementet. Svenska ställningstaganden inför beslut bereddes på Näringsdepartementet.



Figur 1: Schema över Galileos organisation då den slutliga uppbyggnaden och driften av systemet var planerade att handhas av konsortiet GOC.

Galileo kommer att bestå av 30 (27+3) satelliter. De kommer att var fördelade på 3 banplan och cirkulera ca 23 333 km ovanför jordytan. Inklinationen är 56°, vilket är något högre än för GPS.

Satelliterna kommer att styras från två ömsesidigt utbytbara kontrollcentraler via 5 TT&C-stationer (Telemetry, Tracking & Command), 9 upplänkstationer för navigationsdelen samt ett 40-tal övervakningsmottagare över hela jorden för bl.a. integritetsfunktionen. Rymdbolagets satellitstation på Esrange Space Center i Kiruna valdes som första TT&C-station.

Galileo får koordinat- och tidsreferenser som är oberoende av GPS för att undvika risken för gemensamma felkällor. Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF) blir en oberoende realisering av det internationella ITRS. GPS använder WGS 84 som i praktiken också är en realisering av ITRS. Skillnaden väntas bli några få cm, alltså av betydelse endast i geodetiska sammanhang. Transformationsparametrar kommer att finnas mellan referenssystemen.

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

2.3.1 Satellitsignalen

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

Varje satellit ska sända 10 signaler inom de tre frekvensområdena:

E5A/E5B (1164-1214 MHz)

E6 (1260-1300 MHz)

E2-L1-E1 (1559-1591 MHz)

E2-L1-E1 1575,42 MHz 19 cm	A (Ej publicerad)	B 1,023 MHz 300 m	C 1,023 MHz 300 m		
E5A 1176,450 MHz 25,5 cm				I 10,23 MHz 30 m	Q 10,23 MHz 30 m
E5B 1207,14 MHz 24,8 cm				I 10,23 MHz 30 m	Q 10,23 MHz 30 m
E6 1278,75 MHz 23,4 cm	A (Ej publicerad)	B 5,115 MHz 60 m	C 5,115 MHz 60 m		
L6 1544,10 MHz					

Tabell 8: Satellitsignaler för Galileo.

2.3.2 Galileo-tjänster för absolut mätning

Galileo ska tillhandahålla fem tjänster, varav tre är olika navigationstjänster. De övriga två innehåller tilläggsinformation som skickas på några av frekvenserna som även används för navigationstjänsterna samt en helt egen frekvens.

- **OS** – Öppen navigationstjänst utan användaravgifter och med en planerad noggrannhetsnivå i plan på ca 1 m
- **CS** – Kommersiell navigationstjänst med användaravgift och med en planerad noggrannhetsnivå i plan på ca 1 dm
- **PRS** – Åtkomstkontrollerad navigationstjänst som är krypterad och med en planerad noggrannhetsnivå i plan på ca 1 m
- **SoL** – Safety-of-Life-tjänst som förutom information från den öppna tjänsten även skickar integritetsinformation och autentisering. SoL är avsedd för bl.a. civilflyget.
- **SAR** – Sök- och räddningstjänst. Nödsändare skickar nödanrop med identitetsdata på frekvensen 406 MHz. För lokalisering av den nödställda används radiopejlteknik (121,5 MHz) eller positionen från en GNSS-mottagare. Galileo kommer att ha en returlänk för meddelande till den nödställda på frekvensen 1 544,10 MHz i L6-bandet.

Id	OS	CS	PRS	SoL	SAR
E2-L1-E1 _A			X		
E2-L1-E1 _{B,C}	X	X		X	
E5A _{I,Q}	X	X		X	
E5B _{I,Q}	X	X		X	
E6 _A			X		
E6 _{B,C}		X			
L6					X

Tabell 9: Vilka signaler som ingår i de olika tjänsterna för Galileo.

E5A är samma frekvensområde som L5 för GPS och E5B är samma som L3 för GLONASS. Galileo kommer att sända i hela E5-bandet, vilket ger en mycket robust signal. Frekvenserna E5A och E5B ligger så nära varandra att man för positionsbestämningen i praktiken inte har så stor fördel av att ha tillgång till båda frekvenserna. Det innebär att man med den öppna navigationstjänsten (OS) kan sägas ha tillgång till två frekvenser för positionsbestämningen. För att kunna utnyttja tre frekvenser (motsvarande L1, L2 och L5 för GPS) krävs ett abonnemang på den kommersiella navigationstjänsten (CS).

2.4 Compass Navigation Satellite System

30 oktober 2000 skickade Kina upp satelliten BNTS-1 (GEO) och påbörjade därmed uppbyggnaden av ett lokalt navigationssystem över Kina som kallades Beidou-1. Mellan 2000 och 2003 skickades tre satelliter upp och en fjärde satellit skickades upp 3 februari 2007 som ännu inte är i bruk. Systemet består av geostationära satelliter och bygger på tvåvägskommunikation. Systemet var ursprungligen militärt men i april 2004 blev det tillgängligt även för civila användare.

Kina har meddelat att Beidou-1 kommer att byggas ut till ett globalt system som går under namnet Compass Navigation Satellite System (CNSS) (eller Beidou-2). Systemet planeras att bestå av 5 geostationära satelliter (GEO) och 30 MEO-satelliter på ca 21 550 km höjd i sex olika banplan. Den första MEO-satelliten sköts upp 14 april 2007. CNSS bygger på envägskommunikation, liksom övriga GNSS.

Till en början kommer CNSS att täcka Kina och dess grannländer, vilket förväntas ske 2008. Nästa steg är att utöka till en global täckning.

Det kommer att finnas två typer av tjänster, en öppen tjänst för civila användare och en för licensierad tjänst för militären. Den öppna tjänsten planeras ge en positionsnoggrannhet på 10 m och en tidsnoggrannhet på 50 ns.

Satelliterna skickar signaler på fyra olika frekvenser: 1207,14 MHz, 1268,52 MHz, 1561,098 MHz och 1589,742 MHz. Bär vågorna är modulerade med koder, vilka alla ännu inte är officiellt definierade.

2.5 Regionala system

Utöver de fyra globala satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystemen som nämnts ovan finns två regionala system som är under uppbyggnad i Japan och i Indien.

Quasi-Zenith satellite system (QZSS) är ett japanskt regionalt system som ska bestå av tre satelliter som kommer att bättra på GPS-konstellationen. Satelliterna kommer att gå i en s.k. quasi-zenit-bana på så sätt att en satellit alltid kommer att finnas nära zenit över hela Japan. Den första satelliten (QZS-1) kommer att skjutas upp 2009 och övriga två ett antal år därefter. Fem av de sex signalerna från QZSS-satelliterna kommer att vara gemensamma med motsvarande GPS-signaler och den sjätte med Galileos E6. De signaler som kommer att ingå är L1C, L1 C/A, L2C, L5, L1-SAIF (signal för GPS-SBAS) samt LEX (kompatibel med Galileos E6).

Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) är indiskt regionalt system som planeras bli ett oberoende GNSS som dock bara kommer att bestå av sju satelliter. Fyra av satelliterna kommer att gå i en quasi-zenit-bana och tre stycken kommer att vara GEO. Med denna konstellation kommer tillgängligheten av systemet inte bli så stor annat än i Indien. Systemet anses behövas för att GPS fått liten spridning på landsbygden i Indien och att man behöver ett eget system för att få en revolution inom GNSS-tillämpningar.

Möjligen kan samarbetet mellan Indian Space Research Organization och Russian Space Agency (RSA) (som driver GLONASS) som inleddes i januari 2004 påverka utbyggnaden av IRNSS.

2.6 Information om GNSS

Det finns en svensk standard som berör satellitbaserad positionsbestämning [SIS 1994]. Här finns svenska benämningar och förklaringar av termer inom satellitbaserad positionsbestämning med tonvikt på GPS. Revidering av standarden pågår.

Det finns officiella webbplatser för respektive system. Därutöver finns mängder med andra webbplatser med information om de olika systemen. En sådan är Lantmäteriets hemsida och framför allt under rubriken SWEPOS.

Lantmäteriet:

<http://www.lantmateriet.se>

SWEPOS (direkt):

<http://swepos.lmv.lm.se/>

GPS:

<http://www.navcen.uscg.gov>

GLONASS:

<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:1:17421293520707003964>

Galileo:

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm

CNSS:

<http://www.sinodefence.com/strategic/spacecraft/beidou2.asp>

QZSS:

http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_e.html

IRNSS:

(har ej hittat någon officiell länk)

Den amerikanska federala navigeringsplanen (FRP) är ett officiellt policydokument som tas fram av USA:s försvars- och transportdepartement. Planen utkommer vartannat år och reglerar radionavigering i USA och system för detta, inklusive GPS. Den senaste utgavs 2005, [DoD och DoT, 2005] och finns att läsa på <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/frp2005>.

”Radionavigeringsplan (RNP) för Sverige” är den svenska motsvarigheten. Förutom viktiga tekniska data för olika radionavigeringssystem ges även en prognos för den framtida utvecklingen. Den senaste svenska radionavigeringsplanen utgavs 2006, [Sjöfartsverket m.fl., 2006]. RNP 2006 består av två delar. Den första delen behandlar användarkraven samt myndigheternas policies och planer beträffande radionavigering. Den andra delen består av systembeskrivningar.

Man kan beställa ”Radionavigeringsplan för Sverige” från Sjöfartsverket eller hämta den på deras webbplats: <http://www.sjofartsverket.se>.

3 Mätmetoder

Med en GNSS-mottagare mäts i princip tiden det tar för signalen att gå från satelliten till mottagaren. Med hjälp av kännedom om satellit-signalens utbredningshastighet kan tiden omvandlas till ett avstånd, och i och med att satelliternas positioner är kända kan man med hjälp av inbindning i rymden bestämma GNSS-mottagarens position.

Det finns två principiellt olika metoder för avståndsmätningen, kodmätning respektive bärvågsmätning.

Beroende på om GNSS-mottagaren är i rörelse eller stillastående vid positionsbestämningen brukar man skilja på kinematisk och statisk mätning. Både kod- och bärvågsmätning kan tillämpas vid de olika metoderna.

En variant på kinematisk mätning är s.k. **semi-kinematisk mätning**, där man stannar upp någon minut eller del av minut vid varje objekt som ska mätas in. Mottagaren är hela tiden påslagen, även mellan de objekt som ska mätas in.

Vid statisk mätning kan GNSS-mottagaren vara stillastående under några minuter upp till flera dygn.

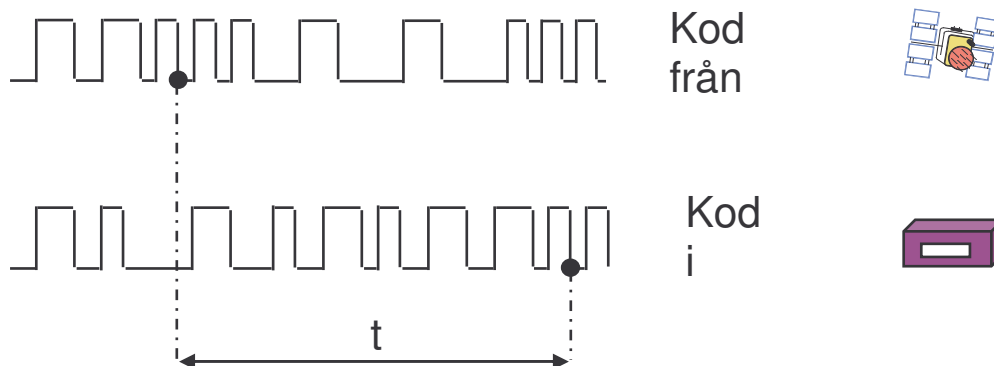
3.1 Kodmätning

Kodmätning är detsamma som avståndsmätning på koden (t.ex. C-, C/A- eller P-koden). Precisionen i kodmätningen har tidigare uppskattas till 1 % av kodens våglängd och beror på vilken typ av kod som används. Senaste tidens utveckling har visat att precisionen numera kan uppskattas så bra som till 0,1 % av våglängden. För GPS innebär det att det med C/A-koden är möjligt att uppnå en precision på ca 0,3-3 m och med P-koden ca 0,03-0,3 m. För GLONASS gäller ca 0,6-6 m för C/A-koden och ca 0,06-0,6 m för P-koden

I GNSS-mottagaren skapas en kopia av koden som genereras i satelliten. Den kod som tas emot från satelliten jämförs sedan med den som skapats i mottagaren och fördröjningen mellan de båda koderna mäts med hjälp av tidsmarkeringar. Den uppmätta fördröjningen motsvarar den tid det tar för den utsända signalen att gå från satellit till mottagare, s.k. gångtid. Ur gångtiden kan sedan avståndet mellan satellit och mottagare beräknas eftersom signalens utbredningshastighet är känd (= ljusets hastighet).

Detta avstånd brukar betecknas pseudoavstånd eftersom det i allmänhet innehåller fel som uppkommer på grund av att

mottagarklockan inte är fullständigt synkroniserad med satellitklockan.



Figur 2: Kodmätning.

3.2 Bär vågsmätning

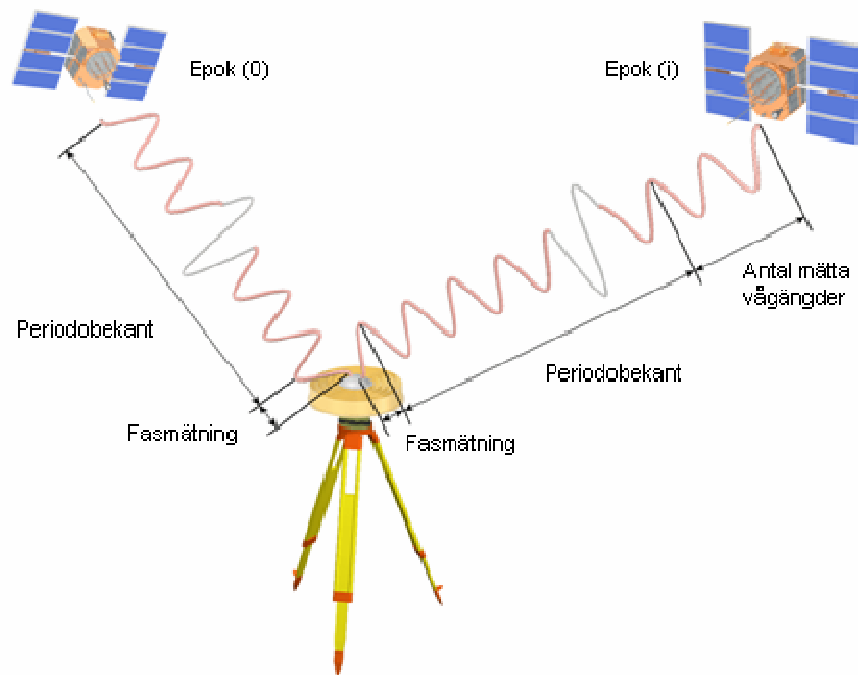
Bär vågsmätning är det samma som mätning på satellitsignalens bär våg, (t.ex. L1, L2, L5 eller en kombination av flera). Upplösningen vid bär vågsmätning kan uppskattas bättre än 1 % av våglängden, vilket motsvarar några millimeter.

I GNSS-mottagaren skapas en signal som har samma frekvens som GNSS-systemets bär våg. Frekvensen för den signal som tas emot från satelliten kombineras med den frekvens som genereras i mottagaren. Bär vågen innehåller inga tidsmärken och därför kan signalens gångtid (fördröjning) inte mätas upp direkt.

Avståndet mellan satellit och mottagare kan i princip uttryckas som ett antal hela våglängder plus en del av en våglängd. Bestämning av delen av en våglängd sker genom fasmätning, som är en relativt okomplicerad procedur.

Antalet hela våglängder vid den tidpunkt då mätningen började, s.k. periodobekanta, måste bestämmas för att avståndet mellan satellit och mottagare ska kunna bestämmas. För realtidsmätning kallas denna process initialisering. När initialiseringen är klar erhålls en s.k. fixlösning och innan denna är klar ger mottagaren en s.k. flytlösning.

Vid bibehållen lösning av satellitsignalen till mottagaren räknas förändringen av antalet hela våglängder från den tidpunkt då mottagaren först låste på signalen. Tillfälliga avbrott i signallåsningen leder till att ett okänt antal våglängder "förloras", s.k. periodbortfall. Korrigerig för denna störning görs automatiskt i mottagaren vid realtidsmätning eller i ett beräkningsprogram vid efterberäkning av data.



Figur 3: Bärvågsmätning.

3.3 Bärvågsunderstödd kodmätning

Positionsbestämningen vid kodmätning kan förbättras genom att signalbruset reduceras genom filtrering av kodmätningarna med bärvågsmätningar. Detta kallas för bärvågsunderstödd kodmätning. För detta används integrerad doppler, vilken innebär att ändringen i avstånd mellan satelliten och GNSS-mottagarens antenn mellan två epoker (två på varandra följande mätningar) beräknas ur bärvågsmätningarna. Kodmätningarna filtreras med denna avståndsändring över ett antal epoker. Bärvågsunderstödd kodmätning kräver alltså sammanhängande mätning under någon eller några minuter. De enklaste GNSS-mottagarna använder sig inte av bärvågsunderstödd kodmätning.

4 Positionsbestämningsmetoder

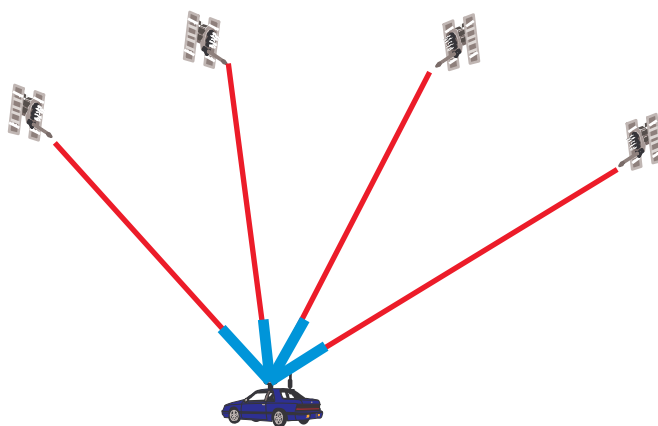
Mottagarens position kan bestämmas genom att ovanstående avståndsmätningar kombineras med information om satelliternas positioner vid utsändningen av signalerna. Satelliternas positioner kan beräknas ur banddatainformation i satellitmeddelandet.

Positionsbestämningen kan antingen ske direkt i mottagaren (i **realtid**) eller genom **efterberäkning** av data i ett beräkningsprogram. Då sparas data i mottagaren som sedan överförs till en dator med ett beräkningsprogram.

4.1 Absolut positionsbestämning

Den enklaste formen av positionsbestämning kallas absolut positionsbestämning. Den utförs med *en* mottagare. Vid absolut positionsbestämning används oftast kodmätning.

Mottagarens position bestäms direkt i förhållande till satelliterna genom en inbindning i rymden. För bestämning av en tredimensionell position behövs längdmätning mot minst 4 satelliter. De fyra obekanta (tre koordinater och en mottagarklockkorrektur) ska bestämmas. Satellitpositionen fås initialt i det referenssystem som satellitsystemet använder, d.v.s. ett globalt system.



Figur 4: Princip för absolutpositionsbestämning.

För absolut positionsbestämning finns noggrannhets-specifikationer för respektive system (se avsnitt 2.1.2 respektive 2.2.2). I praktiken verkar dock GPS ha en högre noggrannhet än i specifikationen.

Utvecklingen av systemen som t.ex. tillägg av flera signaler innebär en ökad positionsnoggrannhet vid absolut mätning. För GPS har utvecklingen lett eller kommer att leda till följande uppskattningar av den horisontella noggrannhetsnivån:

- C/A-kod på L1 med SA (före maj 2000): 20 -100 m
- C/A-kod på L1 utan SA (efter maj 2000): 10 – 20 m
- C/A-kod på L1, L2C: 5 – 10 m
- C/A-kod på L1, L2C, kod på L5: 1-5 m

(Källa: Royal Observatory of Belgium,
http://www.gps.oma.be/gb/modern_gb_ok_css.htm)

Det är även möjligt att använda både kod- och bärvågsmätning. Tekniken kallas "Precise Point Positioning" (PPP). Förbättrade värden på satelliternas ban- och klockparametrar samt information om atmosfären behöver dock vara med vid beräkningen. Dessa värden är dock framtagna med hjälp av observationer i ett globalt nätverk av referensstationer, varför metoden egentligen inte borde sägas vara en form av absolut mätning.

4.2 Relativ positionsbestämning

Om högre noggrannhet önskas används relativ positionsbestämning.

Mottagarens position bestäms i förhållande till en känd punkt. Genom att det bildas differenser mellan mätningarna av de båda punkterna elimineras eller reduceras de flesta fel som uppstår vid absolut mätning. Det behövs minst två mottagare för att mäta relativt. För att få en korrigerad position måste man mäta mot minst fyra satelliter som är gemensamma för de båda mottagarna.

Relativ positionsbestämning kan ske med både kodmätning och bärvågsmätning. Bestämningen kan ske i realtid eller med efterberäkning av statistiska eller kinematiska data.

Den (de) mottagare som etableras på en punkt med känd position (referensstation) kan antingen placeras där tillfälligt eller som en mer fast installation. Vid användning av en **tillfällig referensstation** kan GNSS-mottagaren placeras på någon befintlig referenspunkt (geodetisk stompunkt).

Ett alternativ till tillfällig referensstation är att använda **fasta referensstationer**, som antingen kan etableras i egen regi eller som en tjänst som kan användas av flera användare inom täckningsområdet. Denna lösning innebär att varje användare endast behöver en GNSS-mottagare i stället för två.

Relativ positionsbestämning av bärvågsdata insamlade genom **statisk mätning** kan vid efterberäkning ge ett medelfel på 5-30 mm i

plan. Erfordrad observationstid varierar mellan några minuter till några timmar eller dygn beroende på avståndet mellan den kända punkten och nypunkten (baslinje).

För relativ positionsbestämning i realtid finns två metoder, **DGPS** och **RTK**, där senare metoden ger en högre noggrannhet.

4.2.1 DGPS

Med DGPS (=Differentiell GPS) avses relativ kodmätning eller bärvågsunderstödd kodmätning. Oftast sker positionsbestämningen i realtid men kan även ske med efterberäkning. Metoden ger ett medelfel på 0,5-5 m i plan.

En mottagare på känd position kan med hjälp av skillnaden mellan den mätta positionen och den kända positionen beräkna korrektioner för avståndet till varje satellit. Korrektionerna sänds sedan till den rörliga mottagaren, rovern.

Det standardiserat överföringsformat RTCM för realtidsmätning kan användas för överföring av för avståndskorrektionerna.

Noggrannheten i DGPS-mätning beror dels på mottagarens prestanda och dels på om bärvågsunderstödd kodmätning (se avsnitt 3.3) används. I framtiden när det kommer att finnas flera olika civila koder tillgängliga kommer noggrannheten även att bero på vilken av koderna som används.

4.2.2 Nätverks-DGPS

Något som har utvecklats under senare tid är nätverks-DGPS. Det innebär att användaren får korrektioner som baseras på data från fler referensstationer i stället för bara en, som vid vanlig DGPS.

4.2.3 RTK

Med RTK (=Real Time Kinematic) avses relativ bärvågsmätning i realtid. Metoden ger ett medelfel på 10-30 mm i plan.

Bärvågsdata (eller korrektioner) från en mottagare med känd position (referensstation) sänds över och kombineras med bärvågsdata från den rörliga mottagaren (rovern). För att fixlösning ska erhållas måste den rörliga mottagaren initialiseras, d.v.s. periodobekanta ska lösas. Detta kan göras på tre olika sätt, nämligen:

- känd punkt
- snabb statisk mätning
- "flygande" bestämning av periodobekanta (OTF – On The Fly ambiguity resolution), vilket kräver minst 5 satelliter

De två första metoderna var vanliga i början när RTK-tekniken introducerades. I dag används dock nästan uteslutande flygande bestämning av periodobekanta, d.v.s. även när mottagaren är under rörelse.

Tidsåtgången för initialiseringen är från något 10-tal sekunder till några minuter. Det beror bland annat på antal satelliter, satellitgeometrin, avståndet till referensstationen och mottagarens kvalitet. När fixlösningen tappas så måste initialiseringen göras om. Positionsbestämningen görs i realtid.

Man brukar skilja på **enkelstations-RTK** och **nätverks-RTK** som framför allt skiljer sig i hur många referensstationer som används för positionsbestämningen. Den senare varianten är ofta kopplad till någon tjänst med flera samtidiga användare.

4.2.3.1 Enkelstations-RTK

Vid enkelstations-RTK används data från endast en referensstation i taget. När RTK-tekniken introducerades togs ingen större hänsyn till olikheter i jonosfären vid referensstationen och vid rovern. Visserligen kunde båda frekvenserna (L1 och L2) användas för att snabbare lösa periodobekanta men slutlösningen var alltid en L1-lösning. Därför var räckvidden begränsad till ca 10 km. Under senare år har tekniken utvecklats så att en jonosfärsfri linjärkombination kan utnyttjas för att reducera jonosfärs effekten vid lite längre avstånd. Numera finns alltså utrustning som fungerar upp till 30-40 km från referensstationen vid enkelstations-RTK.

Vid enkelstations-RTK etableras oftast en egen referensstation, antingen tillfälligt eller fast. Det betyder alltså att man måste ha tillgång till minst två RTK-utrustningar. En egen datalänk (t.ex. radiomodem eller GSM) för överföring av data behöver också etableras.

Enkelstations-RTK kan även användas i en tjänst, både som en enskild station eller med flera referensstationer.

Det standardiserat överföringsformat RTCM för realtidsmätning kan användas för överföring av RTK-korrektioner och bärvägsdata.

4.2.3.2 Nätverks-RTK

Då ett antal fasta referensstationer fungerar i nätverk erhålls yttäckande information om de fel som uppstår när GNSS-signalerna passerar atmosfären och på grund av fel i positionerna för satelliternas banor. Denna information kompletterar de sedvanliga data för RTK-mätning. Avståndet mellan de fasta referensstationerna kan ökas från 20-30 km för enkelstations-RTK till ca 70 km med bibehållen noggrannhet och med ungefär lika lång initialiseringstid.

Med nätverks-RTK får man även fördelarna att täckningsområdet blir sömlöst och att data är kvalitetskontrollerade.

I Sverige finns en nästintill rikstäckande nätverks-RTK-tjänst som bygger på ett nät av fasta referensstationer, SWEPOS. Tjänsten togs i operationell drift den 1:a januari 2004 med täckning endast i södra Sverige. Sedan dess har täckningsområdet utökats (se avsnitt 7.1.2).

Det finns lite olika sätt att skicka ut data från ett nätverk med fasta referensstationer. Hittills har data från flera referensstationer använts för att skapa en modell över felkällorna i området som täcks av de berörda referensstationerna. Utifrån den rörliga mottagarens ungefärliga position har vanliga observationsdata från en närbelägen referensstation korrigerats med hjälp av felmodellen. Dessa korrigerade data sägs komma från en virtuell referensstation (VRS) eftersom data även är korrigerade geometriskt så att de ser ut att vara insamlade vid den ungefärliga positionen som erhöles från den rörliga mottagaren.

Det hittills vanligaste sättet bygger på tvåvägskommunikation (t.e.x. GSM eller GPRS) där den rörliga mottagaren skickat över sin ungefärliga position till en server med programvara för nätverks-RTK. På liknande sätt fungerar det med envägskommunikation men då har en extra programvara varit kopplad till den rörliga mottagaren, eftersom det inte funnits något standardformat för att skicka över denna typ av data.

Sedan standardformatet RTCM version 3.1 introducerades i oktober 2006 är det möjligt att även skicka över ett s.k. nätverks-RTK-meddelande. Därmed finns inga hinder för envägskommunikation.

4.3 Statisk positionsbestämning

Med statisk positionsbestämning underförstås i de flesta sammanhang efterberäkning av bärvågsdata insamlade genom statisk mätning med minst två GNSS-mottagare, alltså relativ mätning. GNSS-mottagarna har stått stilla under några minuter upp till flera dygn. Statisk positionsbestämning är den

positionsbestämningsmetod som är mest noggrann. Medelfelet i plan är från några mm till några cm, beroende på observationstid, baslinjelängd och beräkningsalgoritmer.

Vid statisk mätning utnyttjas ofta en förändrad satellitgeometri för att bestämma periodobekanta. För att satellitgeometrin ska hinna ändra sig tillräckligt mycket krävs en observationstid på minst 20 minuter. Långa baslinjer kräver längre observationstid, upp till ett dygn för att lösa periodobekanta och upp till flera dygn för att få en bra position på 500-1000 km.

Det finns en variant av statisk mätning med kortare observationstid, **snabb statisk mätning**. På 5-20 minuter kan baslinjer upp till ca 30 km bestämmas. Snabb statisk mätning utnyttjar liknade algoritmer som RTK för att bestämma periodobekanta. Noggrannheten blir dock inte lika hög som för "vanlig" statisk mätning.

5 Utrustning

Schematiskt är en GNSS-mottagare uppbyggd av följande delar: antenn med förstärkare, radiofrekvensdel, kraftaggregat, GNSS-signalprocessor, mikroprocessor som styr registreringen av satellitsignalerna och utför bearbetningen i fält av erhållna observationsdata, kontrollenhet (tangentbord och display, eventuellt i en lös fältdator) samt dataregistreringsenhet. Mottagarmodellerna skiljer sig åt på några viktiga punkter där följande frågeställningar kan vara relevanta beroende på förväntade prestanda:

- Kan mottagaren utföra kodmätningar eller både kod- och bärvågsmätningar? Upplösning i kodmätningen?
- Kan mottagaren hantera data från flera system (GPS, GLONASS, Galileo)?
- Arbetar den med en, två eller flera frekvenser?
- Från hur många satelliter kan mottagaren samtidigt registrera signaler?
- Har den en kanal per satellit? Om inte, växlar någon eller några kanaler mellan olika satelliter?
- Kan mottagaren användas i såväl kinematiska som statiska tillämpningar?
- Kan mottagaren lagra data för efterberäkning?
- Kan mottagaren användas för DGPS eller RTK? Finns ingångar för standardformatet RTCM?
- Vilka kommunikationslösningar kan användas vid realtidsmätning?
- Hur bra är GNSS-antennen? Är den försedd med jordplan?
- Hur bra är signalbehandlingen? Ju bättre signalbehandlingen är i mottagaren, desto enklare GNSS-antenn kan man använda sig av.

Generellt gäller att ju bättre och noggrannare GNSS-mottagare desto högre pris, d.v.s. noggrannhet kostar!

Nedan ges en översikt över vilken utrustning som krävs för olika noggrannheter (ungefärligt medelfel i plan). Kostnaderna är mycket grovt uppskattade.

Noggrannhetsnivå	Kostnad	Utrustning
10-20 m	1-3 000 kr	Enklaste sortens mottagare för absolut kodmätning
2-5 m	3-4 000 kr *	Samma utrustning som ovan, fast för relativ mätning (med ingång för DGPS-korrekationer för realtidsmätning).
0,5-2 m	20-50 000 kr *	Mottagare som använder sig av relativ bärvågsunderstödd (L1) kodmätning (med ingång för DGPS-korrekationer för realtidsmätning). Kan även användas för efterberäkning.
0,5-5 cm	100-200 000 kr *	Mottagare som använder sig av relativ bärvågsmätning på både L1 och L2 (med ingång för RTK-data för realtidsmätning). Kan även användas för efterberäkning.

Tabell 10: Olika noggrannhetsnivåer och kostnad för GNSS-utrustning.

* Om ingen tjänst utnyttjas måste man ha minst två mottagare. Kostnad för abonnemang tillkommer.

6 Faktorer som påverkar resultatet

Utrustningen, använd mät- och positionsbestämningsmetod (kod eller bärvåg, absolut eller relativ, efterberäkning eller realtid) samt observationstiden har väldigt stor betydelse för noggrannheten. Noggrannheten kan variera från några mm till 20 m beroende på detta. Dessutom finns ett antal felkällor (t.ex. atmosfären, banddata och flervägsfel) och andra faktorer som påverkar noggrannheten.

De huvudsakliga faktorerna är:

- satellittillgänglighet
- signalkvalité och satellitgeometri
- sikthinder
- antenn
- flervägsfel (multipath)
- satelliternas banbestämningar (bandata)
- atmosfären (jonosfär och troposfär)

Flera av felen reduceras till största delen genom relativ mätning. Den kvarvarande delen är delvis beroende av avståndet mellan referensstationen och den rörliga.

Önskas positioner i ett annat referenssystem än SWEREF 99 påverkar också transformationsambandet noggrannheten i slutresultatet.

6.1 Satellittillgänglighet

För att kunna mäta behöver man i teorin tillgång till minst fyra satelliter, eftersom det finns fyra obekanta parametrar, nämligen de tre dimensionerna och klockfelet. GNSS-systemen är utformade så att man ska ha kontakt med minst fyra GNSS-satelliter hela dygnet runt, oavsett var man befinner sig på Jorden. Garantin med fyra satelliter gäller dock endast för öppna ytor. Men för att få ett riktigt bra mätresultat behövs i praktiken tillgång till fler satelliter.

Ett sätt att öka satellittillgängligheten är att använda en GNSS-mottagare som kan ta emot signaler från flera system samtidigt. Vid kombination av flera system används en satellit från varje system för att beräkna tidsskillnaderna mellan systemen. Om det t.ex. finns fyra tillgängliga satelliter i ett system krävs det alltså minst två satelliter i det andra systemet för att det ska bli ett tillskott.

Det kan vara bra att i förväg ta reda på hur satellitkonstellationen ser ut då mätningen ska utföras. Detta görs genom att ta fram en s.k. satellitprognos, se exempel i figur 5. Det kan vara av stor fördel att göra en sådan, så att man vet under vilka tider på dygnet det är mest lämpligt att mäta.

En satellitprognos visar tillgängliga satelliter för en viss position vid olika tidpunkter. Med de flesta större (och även med några mindre) GNSS-beräkningsprogram är det enkelt att göra en satellitprognos. Det går även att göra en prognos online på ett antal ställen på Internet, t.ex. på <http://www.swepos.com>

Det som är viktigt att tänka på när man gör en satellitprognos, är att GNSS-almanackan man använder är ny (inte äldre än två veckor). Dessa almanackor blir fort gamla och är knappt användbara efter cirka två månader. En GNSS-almanacka innehåller banparametrar och går att få från en GNSS-mottagare eller via Internet.

Tid	GPS	GLONASS	
00:00			6 (5/1)
01:00			7 (6/1)
02:00			9 (7/2)
03:00			10 (7/3)
04:00			9 (7/2)
05:00			11 (9/2)
06:00			9 (7/2)
07:00			14 (10/4)
08:00			11 (8/3)
09:00			10 (8/2)
10:00			9 (8/1)
11:00			7 (6/1)
12:00			8 (7/1)
13:00			9 (8/1)
14:00			10 (10/0)
15:00			10 (8/2)
16:00			14 (10/4)
17:00			10 (7/3)
18:00			10 (9/1)
19:00			13 (12/1)
20:00			10 (9/1)
21:00			5 (4/1)
22:00			8 (7/1)
23:00			9 (8/1)
24:00			7 (5/2)

Figur 5: Antal satelliter vid en elevationsvinkel större än 15° i Gävle den 20 september 2007 klockan 00:00-24:00 (UTC). Diagrammet visar antalet satelliter varje timme. Den vänstra delen av stapeln visar antalet GPS-satelliter och den högra delen antalet GLONASS-satelliter.

6.2 Signalkvalitet och satellitgeometri

För att positionen ska anges så bra som möjligt ska parametrarna signalkvalitet och satellitgeometri optimeras. Som framgår nedan finns ett motsatsförhållande mellan de två parametrarna. Därför brukar man som en kompromiss inte använda satelliter med lägre höjd över horisonten än ca 10 grader. Vinkeln för elevationsmasken kan användaren själv bestämma för de flesta mottagare.

Signalkvaliteten anger hur dämpad eller störd signalen är av atmosfären eller miljön kring punkten och blir sämre när satelliten går lågt över horisonten.

För att få en bra **satellitgeometri** är det bra att även ha med satelliter som går lågt över horisonten. Med bra satellitgeometri menas nämligen att satelliterna ska täcka så stor del av himlen som möjligt. Satellitgeometrin blir dålig t.ex. när man mäter invid en husvägg och bara satelliter från ett speciellt håll kan tas emot av mottagaren. Måttet på hur bra satellitgeometrin är anges av ett s.k. DOP-värdet (Dilution Of Precision). Ju lägre DOP-värde desto bättre satellitgeometri.

DOP-värdet och är ett mått på det geometriska bidraget till osäkerheten vid absolut positionsbestämning. Formeln för noggrannhetsangivelser (vid kodmätning) lyder:

$$\sigma = DOP \cdot \sigma_0$$

där σ är medelfelet i positionsbestämningen och σ_0 är mätmedelfelet vid mätning av avståndet till satelliten.

Ett större värde på DOP ger alltså osäkrare positionsbestämning och ju mer spridda satelliterna är på himlen, desto lägre är DOP-talet.

Det finns flera DOP-tal beroende på vilka obekanta som ska bestämmas. Vanligast är

- GDOP (geometrical DOP), vilket motsvarar positionsbestämning med tre positionskoordinater och klockfel, och
- PDOP (position DOP), vilket motsvarar endast tre positionskoordinater som obekanta

Andra DOP-tal är

- HDOP (horizontal DOP; två horisontella koordinater)
- TDOP (time DOP; enbart klockfel)
- VDOP (vertical DOP; enbart höjd)

För relativ statisk bärivägsmätning finns inga vedertagna kvalitetsmått som motsvarar PDOP och GDOP.

Från geometrisk synpunkt är det alltså gynnsamt om satelliterna är väl spridda, d.v.s. att de även är belägna på låga elevationer. Låga elevationer innebär dock att signalerna från satelliterna blir brusigare eftersom vägen genom atmosfären är längre. Man får här en konflikt mellan två intressen, men normalt är att ha en elevationsmask i rovermottagaren på 10-15°, så att man inte använder satelliter som står lägre än 10-15° över horisonten.

6.3 Sikthinder

Satellitpositionering kräver fri sikt mellan satelliten och mottagarens antenn. Därför är det oftast svårare att göra GNSS-mätningar på platser som inte har fri sikt åt alla håll uppåt. Invid de flesta vägar och järnvägar i Sverige växer det skog, vanligtvis barrskog, och därför kan det ibland vara svårt att få kontakt med tillräckligt många satelliter. Ju bredare gata som är upphuggen i skogen, desto större chans har man att få kontakt med tillräckligt många satelliter. Med systemens satellitkonfiguration är det i Sverige (på höga nordliga latituder) viktigare att det är fritt söderut än norrut, eftersom de flesta satelliterna går där. Vidare är satellittäckningen sämre ju närmare polerna man kommer.

Löv- och barrskog påverkar GNSS-mätningen olika. Vanligen går inga satellitsignaler igenom lövträdskronorna, medan satellitsignalerna ofta går igenom barrträdskronorna, vilket medför att signalen i det fallet blir dämpad. Detta innebär att positionen har en tendens att bli sämre när man mäter i eller nära en barrskog (ju fuktigare, desto sämre). Så länge man har tillräckligt många satelliter med godtagbar signalkvalitet i eller nära en lövskog brukar positionen bli bra.

DGPS störs betydligt mindre av träd än vad RTK gör. Detta innebär att när man mäter med DGPS är sikthindren ofta av underordnad betydelse, men för RTK är dessa en stor begränsning.

Hus räknas också som sikthinder. Men eftersom signalen inte kan ta sig genom dessa blir resultatet här att antalet satelliter minskar, medan kvaliteten på GNSS-signalerna inte försämras.

6.4 Antenn

När olika typer av antenner används på referensstationen och rovern är det extra viktigt att antennhöjderna mäts till de rätta referensmarkeringarna som gäller för respektive antenn. Då samma typ av antenn används på båda sidorna kan det bli "rätt" fast man mäter till "fel" referenspunkt, bara man gör lika på båda sidorna.

Alla antennerhöjder anges i förhållande till ARP (Antenna Reference Point), som vanligen är den nedersta delen av antennen. Antennerhöjden mäts dock oftast till någon annan referensmarkering, speciellt om lutande antennerhöjd mäts. Vid realtidsmätning kan dock programvaran i GNSS-mottagaren räkna om höjden till förhållande till ARP. Motsvarande kan ske i efterberäkningsprogram. Från ARP finns sedan konstanta värden (både i plan och i höjddled) upp till antennen elektriska centrum, som dock är olika för L1 och L2. Elektriska centrum läge beror även på satellitens elevation (höjd över horisonten). Information om olika antenntypers olika värden brukar anges i en s.k. antennermodell. Det är speciellt viktigt att dessa värden är korrekta då hög noggrannhet (cm) eftersträvas.

6.5 Flervägsfel

En stor felkälla är också flervägsfel, som uppkommer då satellit-signalen stöter på en reflekterande yta, t.ex. ett plåttak, en spegelvägg eller en spegelblank vattenyta, och studsar mot denna till GNSS-antennen. Signalen går då en längre väg och resultatet blir fel. Oftast får man då samma signal från två olika håll, men det kan hända att signalen endast kommer från det felaktiga hållet på grund av att sikten är skyddad mellan satelliten och antennen. Flervägsfel kan reduceras genom att man använder en anpassad antenner med jordplan (reflektion kan ej komma underifrån), samt genom signal- och databehandling.

6.6 Banddata

Satelliterna sänder kontinuerligt ut ett satellitmeddelande som bl.a. innehåller banddata (broadcast ephemeris), alltså information om satelliternas positioner. Utsända banddata är predikterade och har ett medelfel på ca 2 meter. Detta ger upphov till ett fel i mätningarna som ökar med avståndet mellan referensstationen och den rörliga mottagaren (fel i baslinjen = fel i banddata \times (baslinjens längd/avståndet till satelliten). Vid korta avstånd, < 10-30 km, uppstår ett mätfel på någon/några enstaka millimeter orsakade av osäkerheten i banddata. I dessa fall kan utsända banddata användas utan problem.

Bättre predikterade banddata och efterberäknade banddata beräknas av ett antal beräkningscentrum knutna till IGS (International GNSS Service), däribland CODE (Center of Orbit Determination in Europe vid universitetet i Bern). Banddata som är predikterade 48 timmar framåt i tiden finns tillgängliga samma dag på CODE eller SWEPOS ftp (swepos.lmv.lm.se). Så kallade IGS Ultra Rapid Orbits, som innehåller både efterberäknade och predikterade banddata,

uppdateras fyra gånger per dygn med 0-3 timmars fördröjning och finns tillgängliga på IGS-ftp (<ftp://igsceb.jpl.nasa.gov>).

Vid noggrann mätning (centimeternoggrannhet) mot SWEPOS där baslinjerna kan bli 100-200 km bör 48-timmars prediktioner (medelfel 0,5 m) eller bättre banor användas.

6.7 Atmosfären

När GNSS-signalerna utbreder sig genom jordens atmosfär, på väg från satelliterna ner till mottagaren, påverkas signalernas utbredningshastighet. Atmosfären kan delas in i ett antal olika skikt eller sfärer. De två skikten närmast jordytan, troposfären och jonosfären, påverkar signalerna men på olika sätt.

Det finns möjlighet att göra en modellering av jonosfären eftersom man även med ett relativt glest referensstationsnät får satellitsignaler som korsar varandra i jonosfären. Ju tätare nät desto mer korsande signaler får man, vilket underlättar modellarbetet. För att man på samma sätt ska kunna göra modelleringen av troposfärsfördröjningen behövs ett mycket tätt referensstationsnät. Det går dock att få en ganska god uppskattning av troposfären m.h.a. observationerna vid varje referensstation samt modellering som bygger på sofistikerade interpolationsmetoder.

6.7.1 Jonosfären

Jonosfären är det skikt som återfinns på ca 50-1000 km ovanför jorden. Strålningen från solen gör att elektroner frigörs i jonosfären. Beroende på mängden fria elektroner tar signalerna från GNSS-satelliterna olika vägar och påverkas därför olika mycket. Påverkan av jonosfären gör bärvågsmätningarna för korta och kodmätningarna för långa. Signalerna påverkas dessutom olika beroende på signalernas frekvens. Genom att mäta på två frekvenser kan signalvägen beräknas. Detta är huvudanledningen till att GNSS-satelliterna sänder på minst två olika frekvenser.

Elektrontätheten (antalet elektroner) varierar över dygnet, den är vanligtvis högre på dagen än på natten. Solens strålningsaktivitet har dessutom en periodicitet av ungefär 11 år. Man brukar tala om "solfläcksmaximum" när antalet utbrott är som störst. Senaste maxima inträffade under 2000-2002. Effekterna av solens strålningsaktivitet är även beroende av var man befinner sig. Längs ekvatorn och upp till medelstora latituder förekommer ofta kraftiga variationer i solens strålningsaktivitet. Närmare polerna, t.ex. i Sverige, förekommer ofta snabba men mindre kraftiga variationer.

Signaler från satelliter som står lågt på himlen påverkas mest, eftersom dessa signaler går en längre sträcka genom jonosfären. Därför bör man ange en elevationsgräns i mottagaren. Satelliterna under angivet värde tas då inte med i positionsbestämningen. Normalt värde på elevationsgränsen är ca 10-15 grader.

Effekterna av hög strålningsaktivitet är att det ger upphov till ett skalfel i mätningarna samt att det blir svårare att lösa periodobekanta och laga periodbortfall. Snabba och småskaliga förändringar, scintillationer, kan även göra att mottagaren inte "hittar" signalen från satelliten.

Avståndet mellan referensstationen och den rörliga mottagaren har stor betydelse. Om avståndet är kort kommer jonosfären ovanför de båda stationerna att vara mycket lika. Vid stora avstånd kommer oftast, men inte alltid, olikheter i jonosfärsfördröjningen att uppträda. Redan vid ett avstånd av 1 km mellan referensstationen och rovern kan märkbara skillnader förekomma.

Genom att använda en tvåfrekvensmottagare och s.k. jonosfärsfri linjärkombination (Lc) av L1 och L2 så kan jonosfärsffekten reduceras till stor del, men det blir ett högre brus i mätningarna. Vid enfrekvensmätning kan jonosfärsfelen reduceras genom att använda en jonosfärsmodell.

6.7.2 Troposfären

Troposfären är det skikt som återfinns närmast jordytan, ca 0-10 km ovanför. I troposfären finns molekyler som t.ex. kväve, syre och vattenånga som gör att satellitsignalerna fördröjs och böjs av på ett liknande sätt som en ljusstråle påverkas av ett prisma. Kod- och bärvågsmätningar påverkas på samma sätt och det finns inget frekvensberoende. Man har därför ingen hjälp av att kombinera mätningar på de olika frekvenserna för att kunna beräkna troposfärsfördröjningen på samma sätt som vid reducering av jonosfärsffekten.

Variationer i troposfärsfördröjning beror huvudsakligen på lufttryck, temperatur och luftfuktighet och påverkas alltså av vädret. Minsta påverkan fås en kall och klar vinternatt under en högtrycksperiod. Luften innehåller då mycket lite vattenånga och är homogen över långa avstånd.

Den totala "fördröjningen" av signaler utsända från en satellit i zenit (d.v.s. rakt uppifrån) motsvarar en extra sträcka på ca 2,5 meter om mottagaren befinner sig vid havsytans nivå. Större delen, ca 2,2 meter, kommer av effekter av alla molekyler utom vattenånga

och kan väl bestämmas med mätningar av lufttryck eller från olika generella modeller. Vattenångan står för 0-30 cm och är mycket svår att mäta, modellera eller prediktera. Precis som i fallet med jonosfärsfördröjningen upplever referensstationen och den rörliga mottagaren ungefär samma troposfärsfördröjning om avståndet dem emellan är kort. På längre avstånd kan dock olikheter uppkomma om troposfären inte är homogen. När väderfronter passerar kan troposfärens egenskaper växla snabbt.

Om det finns en höjdskillnad mellan referensstationen och rovern ger detta också upphov till skillnader i troposfärsfördröjning. Troposfärsfördröjningen minskar med 2 mm om höjden över havet ökar med 10 meter. Om referensstationen och rovern befinner sig på 1000 meters höjdskillnad kommer troposfärsfördröjningen att skilja ca 20 cm. Denna problematik hanteras dock oftast av RTK-mjukvaran i mottagaren eftersom den känner den ungefärliga höjdskillnaden mellan referensstationen och den rörliga mottagaren.

Troposfärsfördröjningen ger upphov till dels ett ganska litet skalfel, dels ett relativt höjdfel som på längre avstånd (30-40 km och uppåt) vid ogynnsamma förhållanden kan uppgå till 1 dm. Troposfärsfördröjningen hanteras genom en standardmodell och i mer avancerade programvaror kan även s.k. troposfärparametrar beräknas.

7 Stödsystem

För att rationalisera relativ mätning kan man använda olika **stödsystem** (tjänster) till GNSS. Då behövs endast en mottagare, precis som vid absolut mätning. Tillkommer gör abonnemang och en radiomottagare för att ta emot korrektioner om man vill mäta i realtid. Grunden i stödsystemen är **fasta referensstationer** som kontinuerligt tar emot signaler från GNSS-satelliterna. Det finns stödsystem för kod- och bärvågsmätning, som distribuerar data i realtid och för efterbearbetning. Varje stödsystem kan stödja ett eller flera GNSS genom att sända ut diverse GNSS-data.

I den enklaste formen av stödsystem används referensstationerna var för sig. Data från varje station distribueras i dess täckningsområde. Mer avancerade stödsystem använder sig av s.k. **nätverkslösningar**, som modellerar de olika felkällorna, framförallt atmosfärsfelen, ur data från ett antal referensstationer. Nätverkslösningar ger högre noggrannhet med samma punktavstånd och högre tillgänglighet än nät av enstaka fasta referensstationer. Trenden för stödsystem går mot nätverkslösningar.

Det finns lokala, nationella och internationella stödsystem. Nedan beskrivs exempel på nationella och internationella stödsystem. Ett exempel på ett lokalt stödsystem var nätet av fasta referensstationer vid byggnationen av Öresundsbron där datadistributionen skedde via radio.

Datadistributionen för nationella och internationella stödsystem kan ske via t.ex. FM-radionätet, GSM, GPRS eller satelliter. Vid användning av satelliter kan dessa också sända GNSS-signaler eller motsvarande och på så vis ge användarna fler satelliter att mäta mot. Datadistribution via satellit används i flertalet internationella realtidstjänster. Satellitbaserade stödsystem brukar kallas SBAS (Satellite Based Augmentation System) medan markbaserade brukar kallas LBAS (Land Based Augmentation System).

Exempel på svenska LBAS är SWEPOS Nätverks-RTK- och nätverks-DGPS-tjänster samt DGPS-tjänsten Epos. SBAS ger oftast ett större täckningsområde än LBAS.

EGNOS och liknande stödsystem är några SBAS för GNSS som har en särställning och i bland även används som en synonym för SBAS. De har tillkommit främst för flygtillämpningar och det som gör de speciella är att GNSS-data sänds ut från geostationära satelliter på en GPS-liknande signal. Data består av DGPS-korrektioner, men även av annan information som t.ex. integritetsinformation. I och med att en GPS-liknande signal används kan signalen tas emot av en GPS-

antenn och inget externt radiomodem eller liknande behövs. En nackdel med systemen är att de inte fungerar så bra vid markytan på höga latituder, eftersom elevationen till satelliterna blir låg där.

Noggrannheten med de olika tjänsterna är beroende av de faktorer som nämns i avsnitt 5 och 6. Generellt gäller att man kan förvänta sig ett medelfel i plan på 0,5-5 meter med användning av en DGPS-tjänst och 10-30 mm med en RTK-tjänst. Vid användning av en mottagare som använder sig av bärvågsunderstödd kodmätning kan medelfelet i plan vid DGPS-mätning uppskattas till 0,5-2 meter. Vid all mätning med GNSS gäller att noggrannheten i höjddled är ungefär 1,5 gånger lägre.

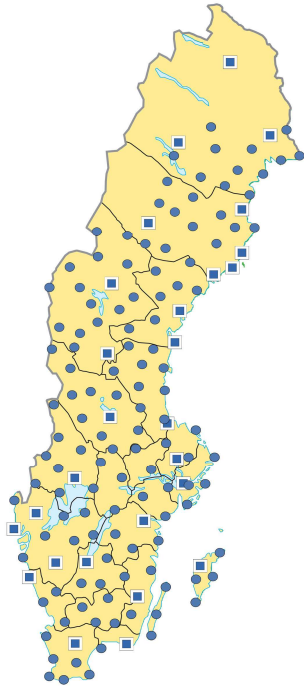
7.1 Svenska stödsystem

De nationella (svenska) stödsystem som beskrivs här är allmänt tillgängliga. Förutom dessa finns även Luftfartsverkets och Försvarets egna nationella stödsystem.

7.1.1 SWEPOS

SWEPOS är ett rikstäckande nätverk av fasta referensstationer för GNSS. Det består i dagsläget (september 2007) av 154 fasta referensstationer (27 klass A och 127 klass B). Deras data kan användas för efterberäkning eller i realtid. DGPS-data från SWEPOS levereras via SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst och Epos-tjänsten och RTK-data via SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. För efterberäkning hämtar användaren data via ftp för egen beräkning eller använder SWEPOS Beräkningstjänst.

SWEPOS drivs av Lantmäteriet, men vid utformningen och finansieringen före år 2000 medverkade flera andra statliga verk och bolag. Sedan år 2000 finansieras SWEPOS av anslag och användaravgifter och utvecklas i samarbete med användarna.



Figur 6: Stationskarta SWEPOS

SWEPOS har tre huvudsyften:

- tillhandahålla GNSS-data för navigering, positionsbestämning och vetenskapliga ändamål
- realisera det nationella referenssystemet (SWEREF 99)
- övervaka GNSS-systemens integritet.

Den 1 juli 1998 nådde SWEPOS IOC-status, d.v.s. det blev operationellt för navigerings- och positionsbestämningstillämpningar i realtid med meternoggrannhet och för efterberäkningstillämpningar med centimeternoggrannhet.

Den 1 januari 2004 förklarades SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst operationell. Då täcktes bara södra Sverige in av tjänsten men den har utökats sedan dess. Idag (september 2007) saknas endast täckning i nordvästra delen av Sverige.

Information om abonnemangspriser och övrigt om SWEPOS finns på <http://www.swepos.com>.

7.1.2 SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst

SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst använder sig i dag (september 2007) av den variant av nätverks-RTK som kallas VRS – virtuell referensstation. Användaren skickar in sin absolutposition till SWEPOS driftledningscentral och nätverks-RTK-programvaran skapar en s.k. virtuell referensstation på den platsen. Programvaran tar RTK-data från närmaste SWEPOS-station, påför atmosfäriska korrekationer för användarens position – interpolerat ur programvarans atmosfärmodell – och gör sist en geometrisk korrektion av RTK-data till användarens position – den virtuella referensstationen skapas. Det innebär att rovmottagaren upplever att det finns en "referensstation" i dess omedelbara närhet och att

nätverks-RTK-data är skräddarsydda för användaren. Kommunikationen sker via GSM eller GPRS. När GSM eller GPRS-förbindelsen kopplas ned och sedan kopplas upp igen, skapas en ny virtuell referensstation.

I och med introduktion av RTCM version 3.1 i oktober 2006 kommer tjänsten i framtiden även att kunna skicka ut ett nätverk-RTK-meddelande, vilket möjliggör envägskommunikation. Då kan även t.ex. FM-radionätet användas för datadistribution. Arbete pågår för att studera möjligheter och förutsättningar för denna typ och andra typer av distribution.

Det finns två olika typer av abonnemangsalternativ att välja mellan; dels ett fast årsabonnemang och dels ett abonnemang som baseras på uppkopplad tid. Abonnemangen har ingen geografisk begränsning utan gäller för alla områden där nätverks-RTK-tjänsten finns etablerad.

Som stöd för mätning med tjänsten har en kortmanual tagits fram [Norin m.fl., 2006].

7.1.3 SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst

SWEPOS Nätverks-DGPS-tjänst introducerades 1 april 2006 och fungerar på liknande sätt som SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Även här används GSM eller GPRS för kommunikationen. Det som skiljer är att koddata används istället för bärvågsdata och därmed erhålls en lägre noggrannhet.

Abonnemangen som är per år har ingen geografisk begränsning utan gäller i hela Sverige.

7.1.4 Epos

Epos är en DGPS-tjänst som drivs av Teracom. DGPS-korrekationer kommer från SWEPOS, där de först har kontrollerats på driftledningscentralen innan de skickas ut via Kaknästornet och RDS-kanalen på P4. Korrektionerna kommer från enskilda referensstationer, ingen nätverklösning används alltså.

Det finns två typer av abonnemang, ett med täckning över Sverige och ett som även täcker in Finland.

7.1.5 Sjöfartsverkets DGPS-tjänst

Sjöfartsverkets DGPS-tjänst består av 10 fasta referensstationer och utsändningen sker över befintliga radiofyrrar. Systemet följer internationellt fastställd standard. Tjänsten är avsedd för navigation i svenska farvatten. Det finns ingen garanterad täckning på land. Korrektionerna kommer från enskilda referensstationer, ingen nätverklösning används alltså.

Användare måste ha speciell radiomottagare (radiofyr-mottagare), men någon abonnemangsavgift tas inte ut eftersom abonnemanget bekostas av farledsavgifter.

7.2 Internationella stödsystem

Det finns även internationella stödsystem, vilka främst använder sig av geostationära satelliter vid utsändningen av data. Geostationära satelliter ligger i ekvatorsplanet och har en elevationsvinkel som understiger 15° norr om polcirkeln. Detta medför vissa problem med täckningen, framförallt i norra Sverige.

7.2.1 OmniSTAR och Veripos

OmniSTAR och Veripos är två internationella tjänster för både DGPS och RTK. Tjänsterna utnyttjar geostationära kommunikationssatelliter för distribution av data. OmniSTAR drivs av företaget Fugro och Veripos av företaget Subsea 7.

Båda systemen är globalt täckande men eftersom de använder sig av geostationära satelliter försvåras mottagningen framförallt vid landtillämpningar på höga latituder.

Abonnemangen kan väljas med olika stora täckningsområden och med olika sätt för datadistributionen.

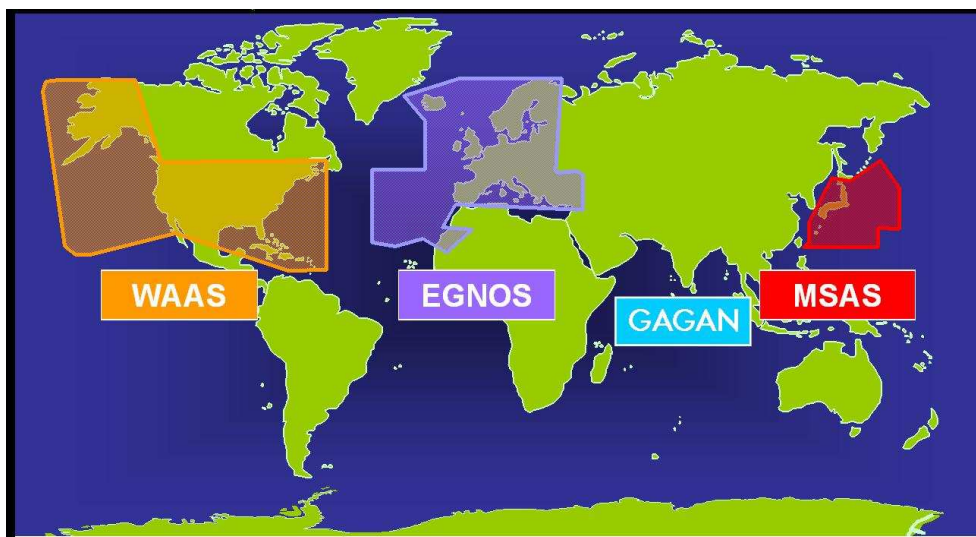
Både OmniSTAR och Veripos har flera tjänster med olika noggrannhetsnivåer, alltifrån några decimeter upp till ett par meter.

7.2.2 EGNOS

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) är en europeiskt DGPS-tjänst som har tillkommit efter initiativ från den europeiska rymdstyrelsen ESA (European Space Agency), EU och den europeiska flygorganisationen Eurocontrol. Systemet har varit i en testdrift i några år och drivs av ESSP (European Satellite Services Provider). Till mars 2008 kommer en koncessionär utses för den slutliga administrationen av systemet, vilken påbörjas 2009.

Utbyggnaden av referensstationerna ska slutföras under 2007. Antalet kommer då att uppgå till 34 stycken över huvudsakligen Europa. Referensstationerna kallas RIMS (Ranging & Integrity Monitoring Stations) och en ligger i Sverige (Gävle). Det finns även planer på att bygga ut i Mellanöstern och Afrika. Tre stycken geostationära satelliter används för utsändningen av GNSS-korrekationer.

7.2.3 Övriga SBAS



Figur 7: Täckningskarta för EGNOS och liknande SBAS.

USA:s motsvarighet till EGNOS heter WAAS, Wide Area Augmentation Service och har varit operationellt sedan juli 2003. Japans motsvarighet heter MSAS. Det förekommer även planer på liknande stödsystem i andra delar av världen som Indien (GAGAN), Kina, Australien, Nigeria (NIGCOMSAT) och Brasilien.

Ett utvecklingsområde är att i större utsträckning basera integritetskontrollen på bärvågssignalen, vilket är en sak som kan innebära att systemet kan stödja landning ner till lägre höjd.

7.2.4 IGS och EUREF

IGS (International GNSS Service) och ett är stödsystem för efterbearbetning och består av knappt 400 fasta referensstationer spridda över jorden. SWEPOS-stationerna Onsala, Borås, Mårtsbo, Visby, Skellefteå och Kiruna ingår i IGS. I Europa finns en förtätning av IGS som kallas EPN (EUREF Permanent Network) där även SWEPOS-stationen i Vilhelmina ingår.

Båda tjänsterna tillhandahåller tvåfrekvens GNSS-data för efterberäkning (främst 30-sekundersintervall), banparametrar (både predikterade och efterberäknade), satellitklockkorrektioner, jordrotationsparametrar m.m. Uppbyggnad av realtidsutsädning från IGS och EUREF pågår.

Tjänsterna kan användas kostnadsfritt och bygger på att data från nationella referensstationer tillhandahålls gratis. Man kommer åt tjänsterna via FTP, (<ftp://igs.ifag.de>, <ftp://igsb.jpl.nasa.gov>). Banparametrar, satellitklockkorrektioner och jordrotationsparametrar finns även på SWEPOS anonym ftp: <ftp://www.swepos.com>.

8 Referenssystem

Positionsbestämning m.h.a satellitsystem ger primärt positioner i ett globalt system. GPS använder referenssystemet WGS 84. GLONASS använder sig av referenssystemet PZ 90 och Galileo kommer att använda sig av GTRF. Sedan 1994 är WGS knutet till det internationella systemet ITRF. GTRF och en nyare version av PZ 90 (PZ-90.02) kommer att vara knutet till ITRF.

Vid all relativ GNSS-mätning i Sverige bestäms koordinaterna primärt i SWEREF 99. SWEREF 99 är ett globalt system och även detta är knutet till ITRF. Skillnaden mellan de olika ITRF-baserade systemen är några decimeter, vilket gör att det för de flesta praktiska tillämpningar kan betraktas som identiska. Man kan t.ex. kombinera referenskoordinater i SWEREF 99 med banddata i WGS 84 utan problem i de allra flesta praktiska tillämpningarna.

8.1 SWEREF 99

SWEREF 99 ersätter det äldre nationella referenssystemet RT 90.

SWEREF 99 är ett globalt anpassat tredimensionellt (kan ange både plan och höjd) referenssystem som definieras av de 21 fundamentalpunkterna i det nationella SWEPOS-nätet.

SWEREF 99 är en svensk realisering av en europeisk standard, som i sin tur bygger på ett system som tillämpas över hela världen. Med SWEREF 99 som nationellt referenssystem erhålls alltså god överensstämmelse med såväl våra grannländer som med resten av Europa.

De geodetiska koordinater (latitud och longitud) som erhålls vid GNSS-mätning i SWEREF 99 är därför i det närmaste identiska med de som erhålls i grundsystemet WGS 84. Det som skiljer dem åt är den korrektion för kontinentaldriften som finns inbyggd i SWEREF 99, vilket i dag ger en skillnad på några dm.

I många sammanhang är det enklare att hantera plana koordinater än tredimensionella. Därför används ofta ett plant referenssystem när en position ska beskrivas. Plana nationella referenssystem är oftast kopplade till ett tredimensionellt referenssystem med en kartprojektion. SWEREF 99 kan redovisas antingen i en nationell projektion (SWEREF 99 TM) eller i en av de 12 regionala projektioner.

Geografisk information och fastighetsinformation redovisas i dag i en mängd olika referenssystem. En del information är redovisad i SWEREF 99, men det finns också en blandning av lokala och äldre nationella eller regionala referenssystem. Om informationen önskas i ett annat referenssystem transformeras den, oftast direkt i GNSS-utrustningen.

Det finns flera hundra transformationssamband mellan SWEREF 99, RT 90 och andra system. Transformationssambanden har tagits fram för att kunna presentera den geografiska informationen i ett enhetligt system, med den allmänna kartan som bakgrund. Ofta har inte noggrannhetskraven på sambanden varit särskilt höga, huvudsaken har varit att detaljerna har hamnat rätt i förhållande till varandra i den småskaliga kartan.

Dagens situation med transformationer mellan olika referenssystem är både ineffektiv och riskabel. Floran av transformationssamband är svåröverskådlig och det är stor risk att fel samband används eller att sambanden används på fel sätt.

Ett införande av SWEREF 99 gör det möjligt att minska och på sikt helt avveckla de fler än 300 olika koordinatsystem som finns i drift i dag. Färre koordinattransformationer innebär en effektivisering och kvalitetshöjning i många sammanhang. Färre koordinattransformationer innebär också enklare och snabbare datautbyte.

En annan viktig anledning till systembyte är att de äldre systemen, både det nationella systemet RT 90 och de lokala (kommunala) systemen har sämre fjärrnoggrannhet än SWEREF 99. Vid GNSS-mätning kan långa baslinjer (avstånd mellan referensstationen och den rörliga) mätas med bibehållen hög noggrannhet. Noggrannheten i GNSS-mätningen är oftast högre än i det lokala (kommunala) systemet över längre avstånd.

På <http://www.lantmateriet.se>, under "Geodesi och GPS" finns parametrar och formler för ett officiellt nationellt samband mellan SWEREF 99 och RT 90 samt mellan SWEREF 99 och kommunala/lokala system. För att omvandla höjder i SWEREF 99 till höjder i det nationella höjdsystemet RH 2000 används geoidmodellen SWEN05_RH2000 och för att omvandla höjder till det äldre RH 70 används SWEN05_RH70. Även transformationsprogramvaror finns där.

9 Tillämpningar

Det finns en mängd olika användningsområden för satellitteknik, vilka kan delas in i följande kategorier:

- Navigering/lokalisering
- Positionsbestämning/positionering
- Tidsbestämning

Några exempel på tillämpningar inom varje kategori beskrivs nedan.

9.1 Navigering/lokalisering

Den största volymen av GNSS-användning gäller navigering i olika sammanhang. Både DGPS och absolut mätning används. För privata syften till fjälls, i skogen (svampplockning m.m.) och i fritidsbåtar används oftast absolut mätning. I yrkessjöfarten används DGPS. GNSS används i kombination med andra hjälpmedel för flygnavigation i Sverige.

Navigation av flygplan med hjälp av GNSS används också vid t.ex. flygfotografering och kalkning av skog. En del taxibolag och räddningstjänster använder GNSS både för navigering (för att snabbt komma till rätt plats) och för lokalisering (så att en sambandscentral kan se vilket fordon som är närmast målet och därmed lämpligast att skicka på uttryckningen). Ett annat exempel på lokalisering är övervakning av transporter av farligt gods. Idag ingår GNSS-mottagare i många moderna bilar och mobiltelefoner.

9.2 Positionsbestämning/positionering

Förutom för navigering används GNSS för positionsbestämning (ibland även kallad positionering) vid en rad tillämpningar med varierande noggrannhetskrav, t.ex. insamling av data till GIS, geodetisk stommätning, maskinguidning, deformationsmätning, meteorologiska studier.

Stommätning är den geodetiska tillämpning där GPS först visade sig vara konkurrenskraftig. All mätning av stommätning med större punktavstånd än några km görs i dag med GNSS [Lantmäteriverket, 1996]. För stommätning används statisk eller snabbstatisk mätning med efterberäkning.

Detalj mätning innebär både inmätning och utsättning. För utsättning använd någon reelltidsmetod, DGPS eller RTK. Även inmätning görs

oftast med ovan nämnda metoder men kan även göras med efterberäkning.

För deformationsmätningar av t.ex. broar, torn och dammanläggningar används ofta upprepande statiska mätningar med efterberäkning. Permanenta kinematiska system finns också för detta ändamål.

GNSS används t.ex. för att positionsbestämma (framförallt i höjd) gravimetriska mätningar.

Långa serier av statiska mätningar eller upprepade statiska mätningar med efterberäkning kan användas för att studera rörelser i jordskorpan som kan bero på t.ex. plattrörelser, jordbävningar eller landhöjning. T.ex. används SWEPOS för att studera landhöjning och därmed förknippad landtöjning i Sverige.

Vid t.ex. väg- och järnvägsbyggnad används GNSS för maskinguidning och maskinstyrning.

GNSS är ett utmärkt hjälpmedel för att positionsbestämma objekt vid insamling av data till geografiska informationssystem (GIS) och kartdatabaser. Mätmetoden brukar vara DGPS, antingen i realtid eller med efterbearbetning.

Inmätning av provytor för riksskogstaxeringen görs t.ex. av Sveriges Lantbruks-universitet i Umeå. Inmätningar av fornlämningar görs t.ex. av Riksantikvarieämbetet. Några använder DGPS för att mäta in detaljer i orienteringskartor. Ajourhållningen av allmänna kartor görs numera med GNSS.

Inom jord- och skogsbruket används GNSS, och då främst DGPS, för en mängd olika tillämpningar. Bland annat används DGPS för skogsvård och timmertransporter inom skogsbruket och för skördekartering och spridning av konstgödsel inom jordbruket. Likaså används DGPS för arealmätning av jordbruksmarker för EU-bidrag. DGPS gör det också lättare att ta markproverna för dosering av konstgödning på samma ställe varje år. Inom jordbruket har man även börjat med maskinguidning med hjälp av RTK.

9.3 Tidsbestämning

Användning av GNSS för tidsbestämning har ökat snabbt de senaste åren.

Internationella och nationella institut som ansvarar för tid och frekvens (t.ex. nationella realiseringar av UTC eller "Fröken Ur")

använder GNSS för att synkronisera tiden mellan atomklockor på olika platser i världen.

GNSS används för tidssynkronisering inom t.ex. Internet, olika telekommunikationssystem och vid överföring av elektrisk energi. GNSS används även för tidsmarkering av t.ex. banktransaktioner.

10 Referenser

- **Berner Christer (2007):**
Dokumentation från föredrag om Galileo på GNSS-seminariet, Gävle 13-14 mars 2007.
- **CGSIC (2007):**
Dokumentation från föredrag om GPS, Galileo, GLONASS m.m. på Europeiska CGSIC/IISC-mötet i Genève 28 maj 2007.
- **Engfeldt Andreas, Jivall Lotti (2000):**
Kort introduktion till GPS, LMV-rapport 2000:2
- **Engfeldt Andreas, Jivall Lotti (2003):**
Så fungerar GNSS, LMV-rapport 2003:10
- **Fontana Richard D, Cheung Wai, Stansell Tom (2001):**
The Modernized L2 Civil Signal – artikel I GPS World september 2001
- **Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J (2001):**
GPS Theory and Practice, 5:e utgåvan
- **Internet:**
GPS: <http://www.navcen.uscg.gov>
GLONASS: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:1:17421293520707003964>
Galileo: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm
CNSS: <http://www.sinodefence.com/strategic/spacecraft/beidou2.asp>
QZSS: http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_e.html
- **Lantmäteriverket (1996):**
Handbok till Mätningenskungörelsen, Geodesi:GPS (HMK-Ge:GPS), 1996.
- **Munich Satellite Navigation Summit (2007):**
Dokumentation från föredrag om GPS, Galileo, GLONASS m.m. på konferensen Munich Satellite Navigation Summit 6-8 mars 2007
- **Norin Dan (2007):**
Nuläget vad gäller GPS, GALILEO och GLONASS - dokumentation från föredrag på MätKart i Uppsala 9-11 maj 2007
- **Norin Dan, Engfeldt Andreas, Johansson Daniel, Lilje Christina (2006):**

Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst,
LMV-rapport 2006:2

- **Sjöfartsverket m.fl., (2006):**
Radionavigeringsplanen (RNP) för Sverige 2006
- **SIS, Swedish Standards Institute (1994):**
Standarden Satellitbaserad positionsbestämning – GPS-
Terminologi (SS 63 70 01)
- **DoD och DoT (2005):**
Federal Radio Navigation Plan 2005, (DoD= Department of
Defence och DoT=Department of Transportation)

Bilaga 1: Ordlista

I början av 1990-talet togs en svensk GPS-terminologi fram, med en första utgåva fastställd 1992 och en andra utgåva fastställd 1994 (SIS, 1994). Förklaringar i denna bilaga som är direkt hämtade ur GPS-terminologin är markerade med **fet stil**.

Ord	Förklaring
A	
absolutmätning	En position bestäms direkt i förhållande till satelliterna. Kan geometriskt beskrivas som en inbindning i rymden. Vanligen används kodmätning.
ARP	<i>Antenna Reference Point</i> . Referenspunkt för antennhöjdmätning och den punkt varifrån bestämning av antennens elektriska fascentrum (antennmodellen) utgår. Vanligen antennens botten.
A-S	<i>Anti-Spoofing</i> . Kryptering av P-koden till Y-kod . Detta görs för att auktoriserade användare ska vara säkra på att det är en signal från en GPS-satellit och ingen falsk signal som de tar emot.
B	
bandata	Data för beräkning av positioner för ett rymdobjekt som en funktion av tiden . <i>Engelska: ephemeris</i> .
banfel	Brist i modellering av satellitbanorna. Påverkan på en baslinje vid relativ mätning är direkt proportionell mot felet i bandata och baslinjens längd: (<i>fel i baslinjen = fel i bandata x (baslinjens längd/avstånd till satelliten)</i>). Utsända bandata har ett medelfel på ca 2 m. Det finns efterberäknade bandata med medelfelet 5 cm.
baslinje	Tredimensionell vektor mellan två punkter . Denna vektor beskrivs matematiskt av de tre komponenterna ΔX , ΔY och ΔZ , d.v.s. koordinatdifferenserna mellan de två punkterna i X-, Y-, resp. Z-led i ett rätvinkligt, tredimensionellt koordinatsystem.
bärvågsmätning	Mätning på satellitsignalens bärvåg ($\lambda_{L1} = 19$ cm och $\lambda_{L2} = 24$ cm). Upplösningen i bärvågsmätningen är några mm. Periodobekanta måste bestämmas. Kräver mer avancerad mottagare och beräkningsrutiner. Känslig för signalavbrott.
C	
C/A-kod	<i>Coarse/Acquisition code</i> eller <i>Clear/Access code</i> . GPS-systemets civila kod som sänds på L1.
CNSS	<i>Compass Navigation Satellite System (eller Beidou-2)</i> . Ett framtida kinesiskt satellitsystem för navigering och positionsbestämning. Till en början kommer CNSS att täcka Kina och dess grannländer, vilket förväntas ske 2008. Nästa steg är att utöka till en global täckning.

CS	<i>Commercial Service.</i> Galileos kommersiella, avgiftsbelagda tjänst.
D	
DGPS	<i>Differential GPS.</i> Relativ (differentiell) GPS-mätning, vanligen underförstås relativ kodmätning. Noggrannhet: 0,3-5 m. För att få högsta noggrannhet krävs bärvågsunderstödd kodmätning med noggrann upplösning på koden.
DOP	<i>Dilution Of Precision.</i> Det geometriska bidraget till osäkerheten i en positionsbestämning. Ju högre DOP-tal desto sämre noggrannhet. Olika DOP beroende på vad som löses ut, t.ex. PDOP (3D-koord.), HDOP (2D-koord.), GDOP (3D-koord.+ tid). Det finns också ett antal DOP-tal som inte fått någon allmän spridning, t.ex. BDOP och DGDOP.
E	
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay System.</i> Ett europeiskt satellitbaserade stödsystem (SBAS) för GNSS. Systemet har varit i en testdrift i några år och beräknas vara i drift 2008. Tre stycken geostationära satelliter används för utsändningen av GNSS-korrekationer samt integritetsinformation. Utsändningen sker på en GPS-liknande signal.
ekvipotentialyta	Teoretisk yta, där potentialen överallt är konstant. Används om yta som överallt är vinkelrät mot tyngdkraftens riktning.
elektriskt fascentrum	Mottagarantennens elektriska centrum är den punkt som positionsbestäms. Denna punkts läge kan variera något med intensitet och riktning hos de inkommande signalerna. <i>Engelska: antenna phase centre (APC) eller phase centre.</i>
ellipsoid	Se referensellipsoid.
ETRS89	<i>European Terrestrial Reference System 89.</i> (Ellipsoid GRS 1980.) Systemet är knutet till det globala systemet ITRS vid epok 1989.0.
EUREF 89	Ett europeiskt tredimensionellt system. (Ellipsoid GRS 1980.) Systemet är en förtätning av det globala systemet ITRF 89.
F	
fascentrum	Se elektriskt fascentrum.
firmware	Programvara/operativsystem i GNSS-mottagare.
fixlösning	Resultat från utjämnning av data (dubbeldifferenser) från fas-mätning på bärvågen, där antalet våglängder (periodobekanta) har fixerats till heltal. Även kallat heltalslösning. Används även i RTK-sammanhang för lösning där periodobekanta har fixerats till heltal.
flervägsfel	Fel beroende på interferens mellan radiovågor som färdats olika väg (direkt eller reflekterat) mellan sändaren (satelliten) och mottagaren. Påverkar både kod- och bärvågsmätning. Flervägsfel kan reduceras genom bättre antenner och/eller bättre signal-behandling. <i>Engelska: multipath.</i>
flytlösning	Resultat från utjämnning av data (dubbeldifferenser) från fas-mätning på bärvågen, där antalet våglängder (periodobekanta)

har lösts ut som flyttal. Även kallat flyttalslösning. Används även i RTK-sammanhang för lösning där periodobekanta inte har fixerats till heltal.

G	
Galileo	Ett framtida europeiskt satellitsystem för navigering och positionsbestämning. Systemet, som är civilt, kommer att vara kompatibelt med de existerande navigeringssystemen GPS och GLONASS. Driftstart beräknas till år 2008.
GDOP	Se DOP.
geocentriskt kartesiskt koordinatsystem	Tredimensionellt (ortonormerat) koordinatsystem ungefärligt orienterat med origo i jordens tyngdpunkt, Z-axeln parallell med jordens rotationsaxel, X-axeln i ekvatorsplanet genom Greenwichmeridianen och Y-axeln vinkelrät mot dessa så att ett s.k. högersystem bildas.
geodesi	Läran om jordens form och uppmätning.
geodetiska koordinater	Geodetisk latitud och longitud.
geografiska koordinater	Latitud och longitud för en punkt på jordytan. Geografiska koordinater kan vara antingen astronomiska eller geodetiska koordinater.
geoid	Ekvipotentialyta (nivåyta) som bl.a. innehåller oceanernas medelnivå. Geoiden avviker från en global rotationsellipsoid med upp till 100 m på grund av inhomogen massfördelning i jorden.
geoidhöjd	Geoidens avvikelse från referensellipsoiden mätt längs ellipsoidnormalen i punkten. Betecknas med <i>N</i> .
GLONASS	<i>Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema</i> . Ryskt satellitbaserat navigations- och positionsbestämningssystem med global täckning. Hade under 1996 full konstellation. Återuppbyggnad pågår.
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i> . En generell beteckning på satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem som inkluderar en eller flera satellitkonstellationer, mottagare, integritetssystem eller stödsystem.
GPRS	<i>GSM Packet Radio Service</i> . Kommunikationskanal som existerar parallellt med GSM.
GPS	<i>Global Positioning System</i> . Amerikanskt satellitbaserat navigations- och positionsbestämningssystem med global täckning. GPS blev operationellt för civilt bruk 1993.
grundmedelfel	Beräknat medelfel för en mätning med vikten ett (1). Om vikten beräknats som det inverterade värdet av variansen ska grundmedelfelet bli lika med ett.
GTRF	<i>Galileo Terrestrial Reference Frame</i> . GTRF är en oberoende realisering av det internationella ITRS. Skillnaden mot WGS 84 väntas bli några få cm. Transformations-parametrar kommer att finnas mellan referenssystemen.

H	
HDOP	Se DOP.
höjd, ortometrisk	Avståndet, från en punkt, utefter lodlinjen till den nivåyta som definierar höjdsystemets nollnivå, i regel geoiden. Den ortometriska höjden kan inte bestämmas direkt då den är oåtkomlig för mätning. Olika system tillämpas för att approximativt beräkna ortometrisk höjd. Ersätts vid denna beräkning verklig tyngdkraft med teoretisk tyngdkraft erhålles normalhöjd. Betecknas med <i>H</i> .
höjd över ellipsoiden	Avstånd från ellipsoiden till en punkt, mätt längs ellipsoidnormalen. Betecknas med <i>h</i> .
höjd över geoiden	Se höjd, ortometrisk.
I	
IERS	<i>International Earth Rotation Service.</i>
initialisering	Process vid RTK-mätning där en fixlösning bestäms.
initialiseringstid	Den tid det tar vid RTK-mätning för initialisering.
inklination	Vinkel mellan satellitbanans plan och ekvatorns plan. Kan förenklat sägas vara den latitud där satelliten "vänder".
integritet	Information om satellitsignalens kvalitet, så att användaren kan bedöma positionsbestämningens kvalitet.
IRNSS	<i>Indian Regional Navigation Satellite System.</i> Ett framtida indiskt regionalt satellitsystem för navigering och positionsbestämning som planeras bli ett oberoende GNSS. Kommer dock bara att bestå av sju satelliter.
ITRF 89	<i>International Terrestrial Reference Frame.</i> Ett internationellt (globalt) tredimensionellt referenssystem. (Ellipsoid GRS 1980).
ITRS	<i>International Terrestrial Reference System.</i> Realiseras genom ITRF.
J	
jonosfärsfel	Brister i modelleringen av jonosfären (den delen av atmosfären som kännetecknas av hög jontäthet, 50-1000 km över jordytan). Påverkan av jonosfären gör bärvågsmätningarna för korta och kodmätningarna för långa. Vid relativa mätningar innebär detta ett skalfel. Påverkan är dessutom beroende av signalens frekvens, vilket gör det möjligt att (nästan helt) eliminera effekten av jonosfären genom en s.k. jonosfärsfri linjärkombination av L1 och L2. Vid enfrekvensmätning kan jonosfärsfelen reduceras genom användning av en jonosfärsmodell.
K	
kartesiska koordinater	Koordinater i ett rätvinkligt (ortonormerat) koordinatsystem, inom geodesin med två (plansystem) eller tre koordinataxlar.
kartprojektion	Avbildning av jordklotet på ett plan.
kinematisk mätning	Mätning då GNSS-mottagaren är i rörelse, ofta underförstås kinematisk relativ bärvågsmätning. Denna ger en noggrannhet på 10-30 mm. Periodobekanta bestäms genom en initialiseringsprocedur (mätning på känd baslinje, snabb statisk mätning eller under rörelse, s.k. OTF).

kodmätning	Mätning på satellitsignalens C/A-kod (våglängd($\lambda = 300$ m) eller P-kod($\lambda = 30$ m) som är modulerade på bärvågen. Kodmätning är enkel och går snabbt att utföra. Enkla billiga mottagare kan användas. Upplösningen i kodmätningen varierar mellan olika typer av mottagare från någon decimeter till några meter. Bärivågsunderstöd höjer noggrannheten, men kräver låsning till satellitsignalen under några minuter.
koordinater	Tal som anger läget för punkter i förhållande till ett koordinat-system.
koordinatsystem	System för att numeriskt representera ett referenssystem, t.ex. SWEREF 99 TM.
koordinat-transformation	Ett sätt att omvandla läget i ett koordinat- eller referenssystem till ett annat koordinat- eller referenssystem, t.ex. från SWEREF 99 till RT 90. Beräkningsformeln för ett givet till-respektive från-system kallas för transformationssamband.

L

landhöjning	Landhöjningen beror av både inlandsisen och massförskjutningar i jordens inre som i sin tur påverkar tyngdkraftsfältet och därmed geoiden. Landhöjningen varierar och är störst i norra Sverige vid Bottenvikskusten (ca 1 cm/år) och minst i Skåne (ca 0 cm/år).
latitud, geodetisk	Vinkel mellan referensellipsoidens normal och referensellipsoidens ekvatorsplan.
LBAS	<i>Land BAsed Augmentation System.</i> Markbaserade stödsystem. Exempel på svenska LBAS är SWEPOS Nätverks-RTK- och nätverks-DGPS-tjänster samt DGPS-tjänsten Epos.
longitud, geodetisk	Vinkel mellan referensellipsoidens meridianplan och ett godtyckligt valt nollmeridianplan , t.ex. meridianplanet genom Stockholms gamla observatorium. (Numera avses nästan alltid longituden från internationella nollmeridianen genom Greenwich.)

M

medelmeridian	Mittmeridian som normalt avbildas som en vertikal rät linje i kartan, och utgör symmetriaxel, och det plana systemets naturliga x-axel. I Gauss konforma projektion: meridian som avbildas som en längdriktig rät linje.
meridian	Snittlinje som erhålls då en sfär eller rotationsellipsoid skärs med ett plan innehållande rotationsaxeln. Geometriska orten för punkter med konstant longitud.

N

NGS	<i>National Geodetic Survey.</i> Ansvarig för USA:s nationella referenssystem, liksom amerikanska standarder för geodetisk mätning. Sorterar under National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
nollmeridian	Utgångsmeridian för longitudangivelse. Sedan 1884 avses oftast meridianen genom Greenwichobservatoriet utanför London.
normalhöjd	Avstånd från ellipsoiden till kvasigeoiden. Kvasigeoidens avvikelse från ellipsoiden är inte framtagen via tyngd-

	kraftsmätningar eller lodavvikelser. Kvasigeoiden är därför inte en nivåyta i egentlig mening.
Ntrip	<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i> . Protokoll för överföring av realtidsdata över Internet. Ingår i RTCM-standarderna.
nätverks-RTK	Vidareutveckling av RTK, där ett antal fasta referensstationer fungerar i nätverk. Korrektioner beräknas centralt och sänds ut till de rörliga enheterna. Nätverkslösningen ger en sömlös regional täckning med ett begränsat antal referensstationer.
O	
ortometrisk höjd	Se höjd, ortometrisk.
OS	<i>Open Service</i> . Galileos öppna tjänst.
OTF	<i>On The Fly Ambiguity Resolution</i> . "Flygande" bestämning av periodobekanta, d.v.s. bestämningen kan göras under rörelse..
P	
PDOP	Se DOP.
periodbortfall	"Hopp" på ett helt antal våglängder (perioder) i den annars kontinuerliga bärvågsmätningen, beroende på att mottagaren har tappat signallåsningen till bärvågen. <i>Engelska: cycle-slip</i> .
periodobekant	Okänt antal hela våglängder mellan satellit och mottagare vid bärvågsmätningens början. När periodobekanta fixerats till heltal erhålls en s.k. fixlösning. Innan dess har man en flytlösning. <i>Engelska: cycle ambiguity</i> .
P-kod	<i>Precision code</i> . GPS-systemets militära kod som sänds på både L1 och L2. P-koden krypteras till Y-kod. Krypteringsnyckeln är endast tillgänglig för USA:s försvar och dess allierade.
plana koordinater	Koordinater i ett tvådimensionellt ortonormerat koordinatsystem.
plansystem	Koordinatsystem av plana koordinater.
ppm	<i>Parts Per Million</i> , miljondel. Anger t.ex. i längdsammanhang att något ändras med 1 mm/km.
PPS	<i>Precise Position Service</i> . Den militära GPS-tjänsten. Ger förutom SPS-tjänsten tillgång till P(Y)-kod och tidigare även kompensering för SA.
precisionsavvägning	Avvägning med hög noggrannhet, t.ex. i riksavvägningen.
projektionszoner	Område inom vilket en kartprojektion med en uppsättning projektionsparametrar gäller.
PRS	<i>Public Regulated Service</i> . Galileos krypterade, statskontrollerade tjänst.
PZ-90	<i>Parametry Zemli (=jordens parametrar)</i> . Det referenssystem som GLONASS använder. En förbättrad version, PZ-90.02, infördes i september 2007 och är numera knutet till ITRF.
Q	
QZSS	<i>Quasi-Zenith Satellite System</i> . Ett japanskt regionalt system som ska bestå av tre satelliter som kommer att bättra på GPS-

konstellationen. Satelliterna kommer att gå i en s.k. quasi-zenitbana på så sätt att en satellit alltid kommer att finnas nära zenit över hela Japan. Den första satelliten (QZS-1) kommer att skjutas upp 2009 och övriga två ett antal år därefter.

R	
referensellipsoid	Rotationsellipsoid; används som (matematisk) modell av jorden, även kallad jordellipsoiden, eller bara ellipsoiden.
referensnät	En uppsättning stabilt markerade punkter sammanbundna medelst geodetiska mätningar, t.ex. SWEPOS-stationerna.
referensstation	Markstation med känd position som utgör referens vid relativ navigering och relativ positionsbestämning.
referenssystem	Fastlagda lägen för punkterna i ett referensnät, t.ex. SWEREF 99.
relativ mätning	Positionen bestäms relativt en referensstation. Ger högre noggrannhet än absolutmätning, men kräver minst två GNSS-mottagare – en rörlig och en på referensstationen. Relativ mätning kan utföras med såväl kod- som bärvågsmätning.
RH 2000	Rikets höjdsystem 2000. Höjdsystem för den tredje precisionsavvägningen i Sverige, 1979-2003. Systemets nollnivå definieras av Normaamsterdams Peil (NAP).
RH 70	Rikets höjdsystem 1970. Höjdsystem för den andra precisionsavvägningen i Sverige, 1951-67. Systemets nollnivå definieras av Normaamsterdams Peil (NAP).
riksnät	Stomnät på nationell nivå.
RIX 95	Ett nationellt projekt för förtätning av riksnätet i plan och beräkning av transformationssamband mellan kommunala och nationella referenssystem, för att underlätta utbyte av geografisk information och rationell användning av GNSS-teknik.
RMS	Root Mean Square. Kvadratisk medelvärde.
rotationsellipsoid	Yta som genereras av en ellips som roteras kring en av sina axlar; speciellt jordellipsoiden som alstras av meridianellipsens rotation kring jordaxeln.
rover	Rörlig enhet (GNSS-mottagare) vid t.ex. RTK-mätning.
RT 90	Rikets koordinatsystem 1990. (Bessels ellipsoid.) Koordinatsystem använt för redovisning av den tredje rikstrianguleringen 1967-82.
RTCM	<i>The Radio Technical Committee for Maritime Services</i> . Betecknar även ett standardformat för överföring av GNSS-data i realtid.
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> . GPS-mätning med centimeternoggrannhet genom kinematisk relativ bärvågsmätning i realtid. En datalänk behövs för att sända korrekationer från referensstationen till den rörliga enheten.
S	
SA	<i>Selective Availability</i> . Försämring av positionsnoggrannheten för en användare som endast har tillgång till SPS-tjänsten. SA aktiverades 1 juli 1991 och togs bort 1 maj 2000.
SAR	<i>Search And Rescue</i> . Galileos sök- och räddningstjänst.

satellitmeddelande	Meddelande som sänds ut från satellit och som innehåller information om satelliternas status, klockfel, banddata m.m.
satellitprognos	Information om satellitkonfiguration. Kan fås från GNSS-mottagarens almanacksfil som skapas utifrån satellitmeddelandet. Tjänster för satellitprognos finns även på Internet.
SBAS	<i>Satellite Based Augmentation System.</i> Satellitbaserade stödsystem till GNSS. Exempel på SBAS är EGNOS och WAAS.
semikinematisk mätning	Variant på kinematisk mätning för detaljmätning, där man stannar upp någon minut eller del av minut på varje punkt. Noggrannhet: 10-20 mm för baslinjer upp till 10-15 km.
snabb statisk mätning	Variant av statisk mätning med kortare observationstid (5-20 min). Fungerar på avstånd upp till 15-20 km. Något lägre noggrannhet än vanlig statisk mätning. Särskilda metoder för bestämning av periodobekanta används.
SoL	<i>Safety-of-Life.</i> Galileos öppna tjänst i kombination med integritetsinformation, för t.ex. trafikflyget.
statisk mätning	GNSS-mottagaren står stilla under några minuter upp till flera dygn, se snabb statisk mätning.
statisk positionsbestämning	Underförstått efterberäkning av bärvågsdata insamlade genom statisk mätning med minst två GNSS-mottagare, alltså relativ mätning. Medelfel i plan: 5-30 mm. Baslinjer upp till flera tusen km kan bestämmas med denna metod (för dessa avstånd krävs dock avancerade beräkningsrutiner).
stomnät	En uppsättning punkter sammanlänkade av geodetiska mätningar.
stompunkt	Punkt ingående i stomnät.
SPS	<i>Standard Positioning Service.</i> Den civila GPS-tjänsten. Ger användaren tillgång till C/A-kod och satellitmeddelande.
SWEN05_RH2000	En svensk nationell geoidmodell för att omvandla GPS-mätta höjder över ellipsoiden i SWEREF 99 till höjder över havet i RH 2000. Modellen innehåller landhöjnings- och restfelskorrektioner.
SWEN05_RH70	En svensk nationell geoidmodell för att omvandla GPS-mätta höjder över ellipsoiden i SWEREF 99 till höjder över havet i RH 70. Modellen innehåller landhöjnings- och restfelskorrektioner.
SWEPOS	Ett svenskt nationellt nät av fasta referensstationer för GNSS. SWEPOS tillhandahåller data för nätverks-RTK, DGPS, nätverks-DGPS och för efterberäkning.
SWEREF 99	Ett svenskt tredimensionellt geodetiskt referenssystem. (Ellipsoid GRS 1980.) Systemet är en förtätning av det europeiska systemet EUREF 89. För tekniskt bruk kan det anses vara ekvivalent med WGS 84.
T	
TM	<i>Transverse Mercator.</i> Cylindrisk, vinkelriktig kartprojektion. Andra benämningar är Gauss-Krügers projektion, Gauss' konforma projektion eller Gauss' hannoverska projektion.

transformation	Se koordinattransformation.
translation	Förflyttning. I transformationsammanhang förflyttning av koordinatsystemets origo genom förflyttning av x- resp. y-axlarna.
troposfärsfel	<p>Brister i modelleringen av troposfären (den lägre delen av atmosfären – upp till ca 40 km). Kod- och bärvågsmätningar påverkas på samma sätt och det finns inget frekvensberoende. Troposfärsfördröjningen ger upphov till dels ett ganska litet skalfel, dels ett relativt höjdfel som på längre avstånd (30-40 km och uppåt) vid ogynnsamma förhållanden kan uppgå till 1 dm.</p> <p>Troposfärsfördröjningen hanteras genom en standardmodell och i mer avancerade programvaror kan även s.k. troposfärsparametrar beräknas.</p>
U	
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i> , ett världstäckande system av kartprojektionszoner.
V	
VRS	Virtuell referensstation.
W	
WGS 84	<i>World Geodetic System 1984</i> . (Ellipsoiden GRS 1980.) Ett av amerikanska myndigheter konstruerat globalt system för realtidsbestämning av koordinater med GPS. Om positionen bestäms enbart med data från GPS-satelliterna blir den uttryckt i det globala referenssystemet WGS 84. Noggrannheten för sådana positioner ligger på ca 10 meter I Sverige finns ingen regelrätt realisering av WGS 84; i stället används SWEREF 99.
XYZ	
ÅÄÖ	

Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2004:13 Wiklund Peter: "Position Stockholm-Mälaren – 2" – nätverks-RTK i produktionstest.
- 2004:16 Andersson Therese & Torngren Julia: Traditionell RTK och nätverks-RTK – en jämförelsestudie.
- 2005:3 Ahrenberg Magnus & Olofsson Andreas: En noggrannhetsjämförelse mellan nätverks-RTK och nätverks-DGPS.
- 2005:4 Jämtnäs Lars & Ahlm Linda: Fältstudie av Internet-distribuerad nätverks-RTK.
- 2005:5 Engfeldt Andreas (ed.): Network RTK in northern and central Europe.
- 2005:7 Jivall Lotti, Lidberg Martin, Nørbech Torbjørn, Weber Mette: Processing of the NKG 2003 GPS campaign.
- 2005:8 Eriksson Merja & Hedlund Gunilla: Satellitpositionering med GPS och GPS/GLONASS.
- 2006:2 Norin Dan, Engfeldt Andreas, Johansson Daniel, Lilje Christina: Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst.
- 2006:3 Klang Dan & Burman Helén: En ny svensk höjdmodell laserskanning, Testprojekt Falun.
- 2006:4 Klang Dan: KRIS-GIS® projekt i Eskilstuna. Kvalitet i höjdmodeller.
- 2006:5 von Malmberg Helena: Jämförelse av Epos och nätverks-DGPS.
- 2006:9 Shah Assad: Systematiska effekter inom den tredje riksavvägningen.
- 2007:1 Johansson Fredrik & Wallerström Mattias: En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS.
- 2007:4 Ågren Jonas & Svensson Runar: Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH 2000.
- 2007:8 Halvardsson Daniel & Johansson Joakim: Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK.
- 2007:10 Lidberg Martin & Lilje Mikael: Evaluation of monument stability in the SWEPOS GNSS network using terrestrial geodetic methods - up to 2003.

L A N T M Ä T E R I E T



Vakmästeriet, 801 82 Gävle. Tfn 0771-63 63 63, fax 026-65 29 15.