

PM

- Artikel publicerad i Sveriges Kart- & Mätningstekniska Förenings (SKMF:s) tidskrift Sinus, nr 1 2018, sid 26-28

Galileos utveckling till att bli en del av praktisk GNSS-användning

DAN NORIN

Med uppskjutningen av fyra Galileo-satelliter 12 december 2017 har det europeiska satellitnavigeringssystemet nu 22 satelliter i bana. Förberedelserna för att använda dessa satelliter tillsammans med de redan utbyggda systemen GPS och Glonass har pågått en längre tid hos instrumenttillverkare, programvaruleverantörer och tjänsteleverantörer. SWEPOS, Lantmäteriets nät av fasta referensstationer, har tagit in Galileo-kompatibel utrustning samt släppt med Galileo i nätverks-RTK-tjänsten, vilket främst kan ge bättre tillgänglighet för användarna.



Sedan 2010 har över 3400 tyngdkraftsmätningar utförts bl.a. i fjällvärlden som underlag för den nya nationella geoidmodellen SWEN17_RH2000. Mätplatserna höjdbestäms även med nätverks-RTK och framöver kan dessa mätningar produktionsmässigt göras med bidrag från Galileo. Bild: Örjan Josefsson.

Galileos väg mot full satellitkonstellation

Tankarna på ett europeiskt satellitbaserat navigations- och positionsbestämningssystem väcktes tidigt. Redan 1982 genomförde den europeiska rymdstyrelsen ESA (European Space Agency) en studie kallad *User Segment of Navsat*. Under 1990-talet fattades ett antal beslut inom EU som syftade till att påbörja uppbyggnaden av ett europeiskt system, vilka inleddes med ett beslut i Europarådet i februari 1992.

Tekniskt tittade man i detta skede på ett European Navigation Satellite System (ENSS) som inte bara hade satelliter i liknande banor som GPS, dvs. globala, "normala" banor runt jorden på drygt 20 000 kilometers höjd som det sedan blev. Det fanns långt gångna planer på att ha satelliter i helt

geostationära banor och i s.k. geosynkrona banor med inklinations, vilka ger ett fixerat täckningsområde både norr och söder om ekvatorn (Pablos & Martin, 1997). Sådana banor utnyttjas idag av de GNSS som håller på att byggas upp i Asien, som t.ex. det kinesiska Beidou. En av de första gångerna den svenska publiken kunde ta del av de europeiska planerna var vid Lantmäteriets GPS/GNSS-seminarium i Gävle 1998 (Toll, 1998). Namnet Galileo fanns då inte lanserat, utan dök upp 1999 då de slutliga besluten kunde fattas och projektet påbörjas med definitionsfasen i december 1999. Tidsplanen för projektet var vid denna tid något optimistisk, då målet var att ha ett fullt utbyggt system redan 2008 (Tytgat & Campagne, 2000).

Under utvecklingsfasen genomfördes praktiska tester av t.ex. satellitklockornas stabilitet och uppmätningar av strålning på två provsatelliter. Den första av dessa kallades Giove-A och sköts upp 28 december 2005 och den andra kallades Giove-B och sköts upp 27 april 2008. Bägge är nu tagna ur bruk. Under valideringsfasen skedde en utvärdering av en konstellation av fyra prototypsatelliter. Denna fas blev dock kraftigt försenad beroende på bl.a. att det planerade konceptet med privat finansiering avbröts i slutet av 2007. Efter ett beslut inom Europarådet 23 november 2007 finansieras nu hela projektet i stället med offentliga medel och ESA genomförde upphandlingar av industrikontrakt för detta. De två första prototypsatelliterna sköts upp med en rysk Soyuz-2-raket från Kourou i Franska Guayana 21 oktober 2011 och de två nästföljande blev uppskjutna 12 oktober 2012. Uppskjutningarna i den fjärde och sista fasen påbörjades 22 augusti 2014.

Aktuell status för Galileo

De fyra senast uppskjutna Galileo-satelliterna (från 12 december 2017) är ännu inte aktiva. Av övriga 18 satelliter i bana är en satellit inte tillgänglig (och förblir nog det). Vidare hamnade de två Galileo-satelliter som sköts upp 22 augusti 2014 i felaktig omlopps bana. Genom ett antal manövreringar av dessa har man nu fått dem i en bana där förutsättningar för att de ska kunna användas operativt är mycket bättre. Detta gör att det hittills finns 15 helt aktiva satelliter att utnyttja för mätning. I juli 2018 är det dags för en ny uppskjutning av fyra Galileo-satelliter och sedan återstår bara något eller några år innan full satellitkonstellationen är nådd.

Statusen för Galileo och övriga GNSS förändras kontinuerligt och kan bl.a. följas på diverse webbplatser. En utförlig sammanställning ges i reserapporterna från de årliga amerikanska mötena inom Civil GPS Service Interface Committee (CGSIC), t.ex. från 2017 års möte (Eriksson, 2017).

Införande av Galileo

När det ryska systemet Glonass först började kombineras med GPS i GNSS-sammanhang var det mest som ett stöd för GPS. Idag får man förutsätta att Glonass-signalerna ingår mer aktivt i positionsberäkningen. SWEPOS, som är det svenska nationella nätet av fasta referensstationer för GNSS, var tidigt förberett för Glonass. Den viktigaste SWEPOS-tjänsten är nätverks-

RTK-tjänsten och den har erbjudit data för kombinationen GPS och Glonass sedan april 2006.

Under de senaste åren har SWEPOS förberetts för Galileo och nya satellitsignaler från andra befintliga GNSS. Arbetet har bestått i att implementera det nya satellitsystemet och nya satellitsignaler i tjänsterna och i att få med Galileo-kompatibel utrustning. En månad in på 2018 var det så äntligen dags att släppa med Galileo i nätverks-RTK-tjänsten och lansera en s.k. anslutningspunkt där signaler från såväl GPS, Glonass och Galileo ingår!

Generellt innebär nya satellituppskjutningar för de olika GNSS att moderniserade satelliter med bl.a. högre kvalitet på atomuren kan ersätta äldre satelliter. Galileo har där fördelen att få en helt igenom modern satellitkonstellation. Detta yttrar sig bl.a. i ett högt signal/brus-förhållande för Galileos satellitsignaler (vilket kan begränsa flervägsfelsproblematiken) och i en signalautentisering som kan medge varningar för falska signaler (s.k. spoofing). Även om de olika GNSS-satelliterna sänder ut signaler på motsvarande frekvenser, så finns det en del saker som behandlas lite olika mellan systemen. Dessa saker behöver regleras i RTK-utrustningarna när signaler från flera system används, vilket bl.a. studeras i ett pågående doktorandarbete på KTH i Stockholm (Håkansson et al., 2017 och Håkansson, 2017).



Vid den senaste Galileo-uppskjutningen från Kourou i Franska Guyana sköts fyra satelliter upp samtidigt med en fransk Ariane 5-raket. Bild: ESA-Manuel Pedoussaut, 2017.

Förbättrad mätkvalitet

Moderniserade satelliter med t.ex. atomur av bättre kvalitet ger lägre mätosäkerhet vid absolut mätning direkt med respektive GNSS (Glonass används dock inte separat i västvärlden). Kodbaserad positionering med mobiltelefoner samt fordonsnavigering är exempel på tillämpningar som drar nytta av detta. Vid mer professionella tillämpningar med RTK-

mätning bidrar nya GNSS och nya satellitsignaler till främst bättre tillgänglighet men även lägre mätosäkerhet. Med tillgänglighet avses förbättrade möjligheter att få fixlösning då sikten mot satelliterna är begränsad. Att mätosäkerheten sjunker vid nätverks-RTK-mätning med fler GNSS såväl som med användning av ett tätare nät av fasta referensstationer konstaterades tidigt i det s.k. Close-projektet (Emardson et al., 2011).

En bra geoidmodell är en förutsättning för noggrann höjdbestämmning med GNSS. Med förbättrad höjdkvalitet vid mätning med nätverks-RTK har vikten av att förbättra den nationella geoidmodellen SWEN08_RH2000 ökat. Förbättringsarbetet har bestått av omfattande tyngdkraftsmätningar i bl.a. fjällvärlden och på Vänerens is och av nya GNSS/avvägningsobservationer (GNSS-mätta höjder över ellipsoiden på avvägda höjdfixar) m.m. Den nya geoidmodellen heter SWEN17_RH2000 och finns att ladda hem från Lantmäteriets webbplats. Standardosäkerheten (68 %) har uppskattats till ca 8–10 mm i större delen av Sverige (på land).

Kvaliteten i GNSS-mätningar påverkas också av själva handhavandet av GNSS-utrustningen. Handbok i mät- och kartfrågor (HMK), som för närvarande består av 15 dokument, ger riktlinjer för insamling och kvalitetskontroll av geodata. Dokumenten finns i nyutgivna versioner för 2017 och ett av de fem geodesidokumenterna behandlar GNSS-baserad detaljmätning (Lantmäteriet, 2017). I dokumentet finns en generell rekommendation rörande GNSS som lyder "Mätning med fler satellitsystem bör utnyttjas vid låg tillgänglighet på GNSS-signaler, t.ex. i svår lokal mätmiljö". Mer information om HMK och de publicerade dokumenten finns på www.lantmateriet.se/hmk.

Testmätningar

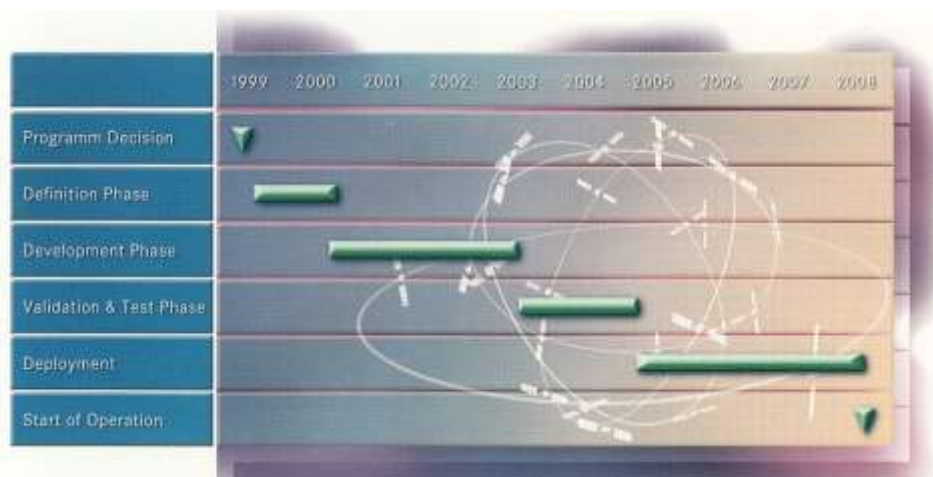
Lantmäteriet har både själva och genom examensarbeten genomfört en hel del testmätningar (Norin, 2017), där de inledande finns utförligt sammanställda (Öberg et al., 2017). De första testmätningarna med RTK och Galileo genomfördes i april 2016 som enkelstations-RTK i form av ett examensarbete vid Stockholms universitet som genomfördes på Södermalm i Stockholm (Berggren, 2016). Därefter har ytterligare tester gjorts med främst nätverks-RTK för att ta reda på vad Galileo kan tillföra rörande skillnader i antal fixlösningar, tid till fixlösning samt standardosäkerhet. I dessa tester användes kombinationen Galileo tillsammans med GPS med en jämförelse mot enbart GPS.

Lantmäteriets testmätningar med nätverks-RTK genomfördes i Gävletrakten med varierande avstånd till närmaste fysiska SWEPOS-station. Gemensamt var att varje mätning bestod av en mätserie med 10 positioner under 10 sekunder som medeltalsbildades. Några GPS-satelliter avaktiverades manuellt med fortsatt acceptabelt PDOP. Mellan varje mätning gjordes en ominitialisering genom att koppla ned RTK-utrustningen. Om fixbestämning av periodobekanta inte erhöles inom 180 sekunder, så betraktades mätningen som en ej lyckad fixbestämning.

Mätningarna kom då att omfatta endast fem eller sex GPS-satelliter samt ingen eller några tillgänglig Galileo-satelliter. Generellt så ger resultaten en bild av att Galileo tillför en del när det gäller fler lyckade fixbestämningar och kortare tid till fixlösning. Däremot är det svårare att avgöra om standardosäkerheten i plan och höjd påverkas av användandet av Galileo-satelliter. Framöver kan man också förutsätta att användningen av Galileo i roverutrustningarna förbättras, vilket kan få positiva effekter som inte har kunnat ses i de hittills genomförda testmätningarna.

Ytterligare testmätningar har skett under 2017, även i form av kontinuerliga mätningar. I ett examensarbete som genomfördes på Högskolan i Gävle (Johansson & Tysk, 2017) skedde mätningar i stadsmiljö och i skogsmiljö. I och med detta behövde inga GPS-satelliter avaktiveras manuellt. Glonass togs med i mätningarna som kom att omfatta runt fem GPS- och ungefär lika många Glonass-satelliter. Antalet Galileo-satelliter kom att variera mellan noll och två stycken och tack vare tillgången till både GPS och Glonass blev det nästan uteslutande fixlösningar. När elevationsgränsen höjdes till 25 respektive 35 grader utan att nämnvärt påverka tillgången på GPS respektive Glonass, så bidrog dock de två Galileo-satelliterna till en märkbart högre andel lyckade fixbestämningar.

De avslutande testmätningarna innan det slutliga införandet av Galileo i SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst utfördes under vintern 2017/2018 i en beta-version av den ordinarie tjänsten. Dessa testmätningar har gjorts på olika håll i landet av användare som varit pigga på att prova Galileo i sina mätningar, såväl som av Lantmäteriet själva. Sammanfattningsvis ger utförda testmätningar en bild av att främst tillgänglighet blir bättre med tillskottet från Galileo. De användare som har testmätt har också rapporterat om underlättad mätning i mer besvärlig miljö med vegetation och byggnader, vilket överensstämmer med de förväntningar användarna generellt har.



Planerna för utbyggnaden av Galileo alldeles i början av 2000-talet var att systemet skulle bli fullt utbyggt redan till 2008. Bild: Hämtad ur den tidiga Galileo-broschyren "Galileo – Global Satellite Navigation Services for Europe".

Referenser

- Berggren A (2016): *Inledande försök till mätning med Europas navigeringssystem Galileo*. Stockholms universitet, examensarbete avancerad nivå, NKA 172, Stockholm (även i Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2016:5, Gävle).
- Emardson R, Jarlemark P, Johansson J, Bergstrand S (2011): *Ionospheric effects on network-RTK*. SP Technical Research Institute of Sweden (numera Rise), SP report 2011:80, Borås.
- Eriksson M (2017): *Reserapport från CGSIC:s 57:e möte vid ION GNSS+ 2017, Portland, Oregon, USA, 25–29 september 2017*. Lantmäteriet, reserapport, Gävle.
- Håkansson M (2017): *Hardware biases and their impact on GNSS positioning*. KTH, licentiatavhandling, TRITA-SOM 2017-08, Stockholm.
- Håkansson M, Jensen A B O, Horemuz M, Hedling G (2017): *Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning*. GPS Solutions, 21(3), sid. 849–860.
- Johansson S & Tysk P (2017): *Galileos påverkan vid nätverks-RTK satellitpositionering i svåra miljöer*. Högskolan i Gävle.
- Lantmäteriet (2017): *HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2017*. Lantmäteriet, Gävle.
- Norin D (2017): *Galileo – europeisk satellitnavigering redo för praktisk användning*. Sinus, nr 1 2017, sid. 10–12.
- Pablos P A & Martin J R (1997): *European constellation contribution to GNSS*. ION, ION GPS 1997, 16–19 september 1997, sid. 1261–1269, Kansas City, Missouri, USA.
- Toll B (1998): *European strategy for the Global Navigation Satellite System*. Lantmäteriets GPS/GNSS-seminarium, 17–18 mars 1998, PowerPointpresentation, Gävle.
- Tytgat L & Campagne P (2000): *Galileo: A new GNSS designed with and for the benefit of all kind of civil users*. ION, ION GPS 2000, 19–22 september 2000, sid. 1362–1365, Salt Lake City, Utah, USA.
- Öberg S, Norin D, Stedt F (2017): *Lantmäteriets testmätningar med RTK och Galileo i SWEPOS fram till januari 2017*. Lantmäteriet, PM, Gävle.