

PM

Lantmäteriets testmätningar med RTK och Galileo i SWEPOS fram till januari 2017

STEFAN ÖBERG, DAN NORIN, FREDRIK STEDT

Sammanfattning

SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst har under många år använt kombinationen GPS och Glonass. I och med den på senare tid snabba uppbyggnaden av Galileo är det nu önskvärt att även det systemet kan användas. SWEPOS-baserade testmätningar med RTK och Galileo har utförts med början i april 2016, inledningsvis bara som enkelstations-RTK, men senare även som nätverks-RTK. Inledningsvis har bara ett roverfabrikat kunnat användas, men nu har det även blivit möjligt att använda andra roverfabrikat. De hittills utförda testmätningarna indikerar en förbättring i tillgänglighet om Galileo-satelliter adderas till fem-sex GPS-satelliter jämfört med om så icke sker (fler lyckade fixbestämningar och kortare tid till fixlösning).

Bakgrund

SWEPOS® är Lantmäteriets stödsystem för satellitpositionering i Sverige. Det består av över 370 fasta referensstationer för GNSS som tar emot signaler från GNSS-satelliterna och skickar data vidare till SWEPOS driftledningscentral på Lantmäteriets huvudkontor i Gävle. Där samlas dataströmmarna från alla stationer in och kvalitetskontrolleras m.m. innan de (tillsammans med data från några ytterligare stationer) används till bl.a. SWEPOS positioneringstjänster. Den viktigaste tjänsten är SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst som inledningsvis bara använde data från GPS-satelliterna. I april 2006 började tjänsten att erbjuda data för kombinationen GPS och Glonass.

Under de senaste åren har SWEPOS förberetts för Galileo och nya satellitsignaler från andra befintliga GNSS (Wiklund, 2016). Efter en uppskjutning av fyra Galileo-satelliter 17 november 2016 består systemet nu av 18 satelliter i bana (även om alla inte är helt funktionsdugliga), se tabell 1. I och med detta förklarade Europeiska Kommissionen 15 december 2016 att Galileo har uppnått Initial Services, vilket är en milstolpe för projektet. Möjligheterna att använda sig av dessa satelliter tillsammans med övriga redan utbyggda system som GPS och Glonass är nu påtagliga. Några saker återstår dock innan anslutningspunkter för nätverks-RTK-tjänsten där Galileo-data ingår kan läggas ut. Dessa rör några återstående funktioner i nätverks-RTK-programvaran och att ett femtiotal GNSS-mottagare i SWEPOS-nätet behöver bytas ut. Vidare behöver testmätningar genomföras

och sådana har påbörjats och de hittills utförda redovisas i detta PM. Fullt utbyggt med 30 satelliter beräknas Galileo vara till 2020 och aktuell status för de olika GNSS finns bl.a. rapporterade i reserapporten från 2016 års möte inom Civil GPS Service Interface Committee (CGSIC) (Alfredsson, 2016).

Tabell 1: *Antalet hittills uppskjutna Galileo-satelliter. ¹Två satelliter sköts upp 21 oktober 2011 och ytterligare två sköts upp 12 oktober 2012 där en bara kan sända E1-signalen. ²De två första satelliterna sköts upp 22 augusti 2014 som dock hamnade i felaktiga banor som nu är förbättrade och de fyra nyligen uppskjutna satelliterna är inte operationella än.*

Satellitmodell	År	Antal	Antal aktiva
Prov	2005-2008	2	0
Prototyp	2011-2012	4	3 ¹
FOC	2014-	14	8 ²
Summa	2005-	20	11

Metod för genomförda testmätningar

SWEPOS-baserade testmätningar med RTK och Galileo inleddes under 2016 med ett examensarbete av Anna Berggren från Stockholms universitet (Berggren, 2016). Därefter har flera tester gjorts för att ta reda på vad Galileo kan tillföra och eventuellt förbättra. I alla tester hittills har bara kombinationen Galileo tillsammans med GPS testats och jämförts med om bara GPS används för att på så sett se skillnader i antal fixlösningar, tid till fixlösning och standardosäkerhet. Alla testmätningar är gjorda i SWEPOS referensstationsnät, inledningsvis mot endast en station, s.k. enkelstations-RTK, men senare även som nätverks-RTK. Nätverks-RTK-testerna har utförts i ett mindre testnät där alla referensstationer i det nätet är utrustade med GNSS-mottagare av modellen Trimble Net R9. Inledningsvis har bara roverfabrikatet Trimble kunnat användas (modell R8-3 har använts), men nu har det även blivit möjligt att använda andra roverfabrikat. Samtliga testmätningar har skett på punkter med god sikt mot satelliterna och med elevationsgränsen tio grader.

Parallellt med detta har även SWEPOS jobbat med att implementera det nya satellitsystemet i sina tjänster, i första hand nätverks-RTK-tjänsten, och har som mål att implementera Galileo i tjänsten under 2017. I framtiden är målsättningen att även det kinesiska systemet BeiDou ska kunna kombineras tillsammans med övriga system.

Testmätningarna har både utförts som punktvis inmätning och som kontinuerlig inmätning enligt:

- **Punktvis inmätning:** Varje mätning är en mätserie med 10 positioner under 10 sekunder som har medeltalsbildats. Några GPS-satelliter avaktiverades manuellt med fortsatt acceptabelt PDOP. Mellan varje mätning gjordes en ominitialisering genom att koppla ned utrustningen. Om fixbestämning av periodobekanta inte erhöles inom

180 sekunder, så betraktades mätningen som en ej lyckad fixbestämning.

- **Kontinuerlig inmätning:** Varje mätning är kontinuerligt inmätt med en sekunds intervall utan ominitialisering eller medeltalsbildning. Samtliga tillgängliga GPS- och Galileosatelliter har använts.

Resultat från genomförda testmätningar

I tabell 2–8 nedan finns en sammanställning av resultaten från de hittills genomförda testmätningarna.

Tabell 2: Testmätningar med enkelstations-RTK.

Mättyp: Punktois inmätning

Tidpunkt: April 2016

Observatör: Anna Berggren, Stockholms Universitet (examensarbete)

Mätpunkt: Stompunkt i Vitabergsparken, Stockholm, på stativ

Referensstation: SWEPOS-stationen Mosebacke (Södra teatern)

Avstånd: 1,2 km

Satellitantal (st)		Antal mätningar (st)	Andel lyckad fixbestämning (%)	Medeltid till fixlösning (sek)	Standard-osäkerhet i plan (mm)	Standard-osäkerhet i höjd (mm)	Medel-PDOP (-)
GPS	Galileo						
5	0	41	88	28	7	16	4,1
5	2	61	93	16	11*	17	3,2
5	3	43	100	23	7	15	2,6
5	4	7	100	13	8	8	2,2
6	0	35	94	10	6	12	3,0
6	2	42	98	12	8	14	2,4
6	3	27	96	8	5	11	2,2
6	4	5	100	8	4	4	2,1

*8 mm om en stor avvikelse på 57 mm togs bort.

Tabell 3: Testmätningar med enkelstations-RTK.

Mättyp: Punktois inmätning

Tidpunkt: Maj-juni 2016

Observatör: Marie Danielsson, KY Helsingborg (Lantmäteriet-praktikant)

Mätpunkt: Testnätspelare på Lantmäteriets tak, Gävle

Referensstation: SWEPOS-stationen Mårtsbo (utan Gävle)

Avstånd: 10,6 km

Satellitantal (st)		Antal mätningar (st)	Andel lyckad fixbestämning (%)	Medeltid till fixlösning (sek)	Standard-osäkerhet i plan (mm)	Standard-osäkerhet i höjd (mm)	Medel-PDOP (-)
GPS	Galileo						
5	0	45	80	44	13	26	3,4
5	2	48	88	30	15	37	2,7
5	3	45	98	43	17	42	2,5
5	4	13	92	30	28	43	2,2
6	0	37	100	10	15	16	2,5
6	2	41	100	15	13	24	2,4
6	3	40	95	10	13	26	2,2
6	4	12	100	10	13	29	2,0

Tabell 4: Testmätningar med enkelstations-RTK.**Mättyp:** Punktois inmätning**Tidpunkt:** September–november 2016**Observatör:** Tarek Al-Kayat (Lantmäterietpraktikant) och Dan Norin, Lantmäteriet**Mätpunkt:** Testnätspelare på Lantmäteriets tak, Gävle**Referensstation:** SWEPOS-stationen Gävle**Avstånd:** 50 meter

Satellitantal (st)		Antal mätningar (st)	Andel lyckad fixbestämning (%)	Medeltid till fixlösning (sek)	Standard-osäkerhet i plan (mm)	Standard-osäkerhet i höjd (mm)	Medel-PDOP (-)
GPS	Galileo						
5	0	35	91	38	4	6	3,4
5	2	16	94	38	4	6	3,0
5	3	16	100	25	4	7	2,4
5	4	33	97	7	3	7	2,0
5	5	5	80	5	2	4	1,7
6	0	29	100	7	3	5	2,7
6	2	19	100	7	3	5	2,5
6	3	48	100	3	4	6	2,3
6	4	21	100	2	3	4	2,0
6	5	13	100	2	3	4	1,6

Tabell 5: Testmätningar med nätverks-RTK (VRS).**Mättyp:** Kontinuerlig inmätning**Tidpunkt:** November 2016**Observatör:** Stefan Öberg och Fredrik Stedt, Lantmäteriet**Mätpunkt:** Testnätspelare på Lantmäteriets tak, Gävle**Närmaste referensstation:** SWEPOS-stationen Mårtsbo (utan Gävle)**Avstånd:** 10,6 km

○ = Referensstationer

△ = Mätpunkt

Satelliter (medelantal)		Antal mätningar (st)	Standard-osäkerhet i plan (mm)	Standard-osäkerhet i höjd (mm)	Medel-PDOP (-)
GPS	Galileo				
9	3	29253	6	10	1,8
9	-	59335	8	13	2,0

Tabell 6: Testmätningar med nätverks-RTK (VRS).*Mättyp:* Kontinuerlig inmätning*Tidpunkt:* December 2016–januari 2017*Observatör:* Stefan Öberg och Fredrik Stedt, Lantmäteriet*Mätpunkt:* Pelare på Rörbergs flygplats, Gävle*Närmaste referensstation:* SWEPOS-stationen Gävle*Avstånd:* 12,0 km

○ = Referensstationer

▲ = Mätpunkt

Satelliter (medelantal)		Antal mätningar (st)	Standard-osäkerhet i plan (mm)	Standard-osäkerhet i höjd (mm)	Medel-PDOP (-)
GPS	Galileo				
10	4	4580	4	6	1,6
8	-	6425	5	8	2,1

Tabell 7: Testmätningar med nätverks-RTK (VRS).*Mättyp:* Punktois inmätning*Tidpunkt:* December 2016–januari 2017*Observatör:* Stefan Öberg och Fredrik Stedt, Lantmäteriet*Mätpunkt:* Testnätspelare på Lantmäteriets tak, Gävle*Närmaste referensstation:* SWEPOS-stationen Mårtsbo (utan Gävle, dvs. samma nät som i kartan i tabell 5)*Avstånd:* 10,6 km

Satellitantal (st)		Antal mätningar (st)	Andel lyckad fixbestämning (%)	Medeltid till fixlösning (sek)	Standard-osäkerhet i plan (mm)	Standard-osäkerhet i höjd (mm)	Medel-PDOP (-)
GPS	Galileo						
5	0	23	100	51	11	15	3,4
5	2	42	93	37	8	19	3,5
5	3	108	98	38	9	17	2,6
5	4	42	100	23	9	22	2,3
5	5	18	100	48	8	29	2,2
6	0	58	100	9	7	10	2,7
6	2	11	91	2	9	22	2,7
6	3	49	100	6	12	32	2,3
6	4	18	100	5	8	10	1,9
6	5	0	-	-	-	-	-

Observera att tabell 8 innehåller motsvarande resultat, men med ett annat roverfabrikat.

Tabell 8: Testmätningar med nätverks-RTK (VRS).*Mättyp:* Punktois inmätning*Tidpunkt:* December 2016–januari 2017*Observatör:* Stefan Öberg och Fredrik Stedt, Lantmäteriet*Mätpunkt:* Testnätspelare på Lantmäteriets tak, Gävle*Närmaste referensstation:* SWEPOS-stationen Mårtsbo (utan Gävle, dvs. samma nät som i kartan i tabell 5)*Avstånd:* 10,6 km

Satellitantal (st)		Antal mätningar (st)	Andel lyckad fixbestämning (%)	Medeltid till fixlösning (sek)	Standard-osäkerhet i plan (mm)	Standard-osäkerhet i höjd (mm)	Medel-PDOP (-)
GPS	Galileo						
5	0	29	93	10	10	10	3,6
5	2	57	91	8	12	12	3,2
5	3	62	100	11	6	11	2,5
5	4	131	100	3	7	12	2,5
5	5	46	100	6	9	13	2,8
6	0	54	96	9	7	15	3,5
6	2	0	-	-	-	-	-
6	3	56	100	2	4	13	2,9
6	4	89	100	2	7	11	2,4
6	5	14	93	15	10	14	2,5

Observera att tabell 7 innehåller motsvarande resultat, men med ett annat roverfabrikat.

Slutsatser

Generellt så visar resultaten att både testmätningarna med enkelstations-RTK och med nätverks-RTK ger 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 Galileosatelliter.

I enkelstations-RTK-testerna ser man även att avståndet till närmaste referensstation har stor betydelse på resultatet, vilket är känt sedan tidigare. Framförallt standardosäkerheten i plan och höjd men även tid till fixlösning förkortas när man har ett kortare avstånd till basstationen. De avstånd som har testats är 10 km, 1,2 km och 50 meter.

Nätverks-RTK-testerna har hittills bara gjorts på ca 10–12 km avstånd till närmaste fysiska referensstation. De ger ett liknande resultat som enkelstations-RTK-testerna när det gäller lyckade fixbestämningar och tid till fixlösning. Det finns även en indikation på att standardosäkerheten kan bli lite lägre då Galileo används. Jämför man standardosäkerheterna med de för enkelstations-RTK så är de generellt lite lägre för nätverks-RTK, kanske framförallt i plan (om man bortser från testet med bara 50 meter till basstationen).

Ytterligare testmätningar är önskvärda för att få en tydligare bild av hur användandet av Galileo kan förbättra nätverks-RTK. Man kan också förutsätta att användningen av Galileo i roverutrustningarna förbättras, vilket framöver kan få positiva effekter som inte har kunnat gå att se i de hittills genomföra testmätningarna.

Referenser

Alfredsson A (2016): Reserapport från CGSIC:s 56:e möte vid ION GNSS+ 2016, Portland, Oregon, USA, 12–16 september 2016. Lantmäteriet, reserapport, Gävle (www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/geodesi/rapporter_publicationer/publikationer/reserapport-cgsic-2016.pdf). Även i Radionavigeringsnämnden, RNN-bulletinen, nr 1 2016, bilaga, pp. 1–19.

Berggren A (2016): Inledande försök till mätning med Europas navigeringssystem Galileo. Lantmäteriet, Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2016:5, Gävle. Även i Stockholms universitet, examensarbete, Stockholm.

Wiklund P (2016): SWEPOS® förbereds för Galileo och nya satellitsignaler. Radionavigeringsnämnden, RNN-bulletinen, nr 1 2016, sid. 12–15.