



ANVÄNDNING OCH TESTER AV GALILEO OCH BEIDOU FÖR NÄTVERKS-RTK

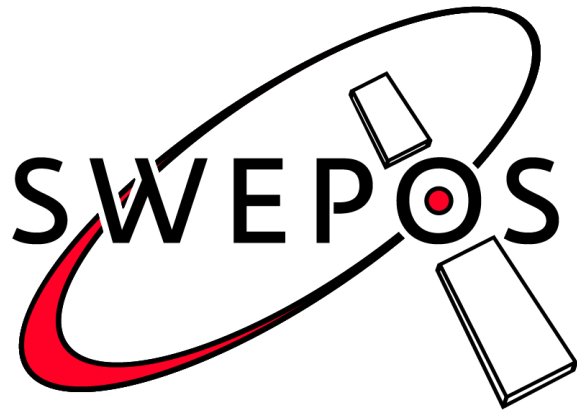
KARTDAGARNA 2021, DIGITALT 20–21 APRIL 2021

STEFAN ÖBERG

LANTMÄTERIET



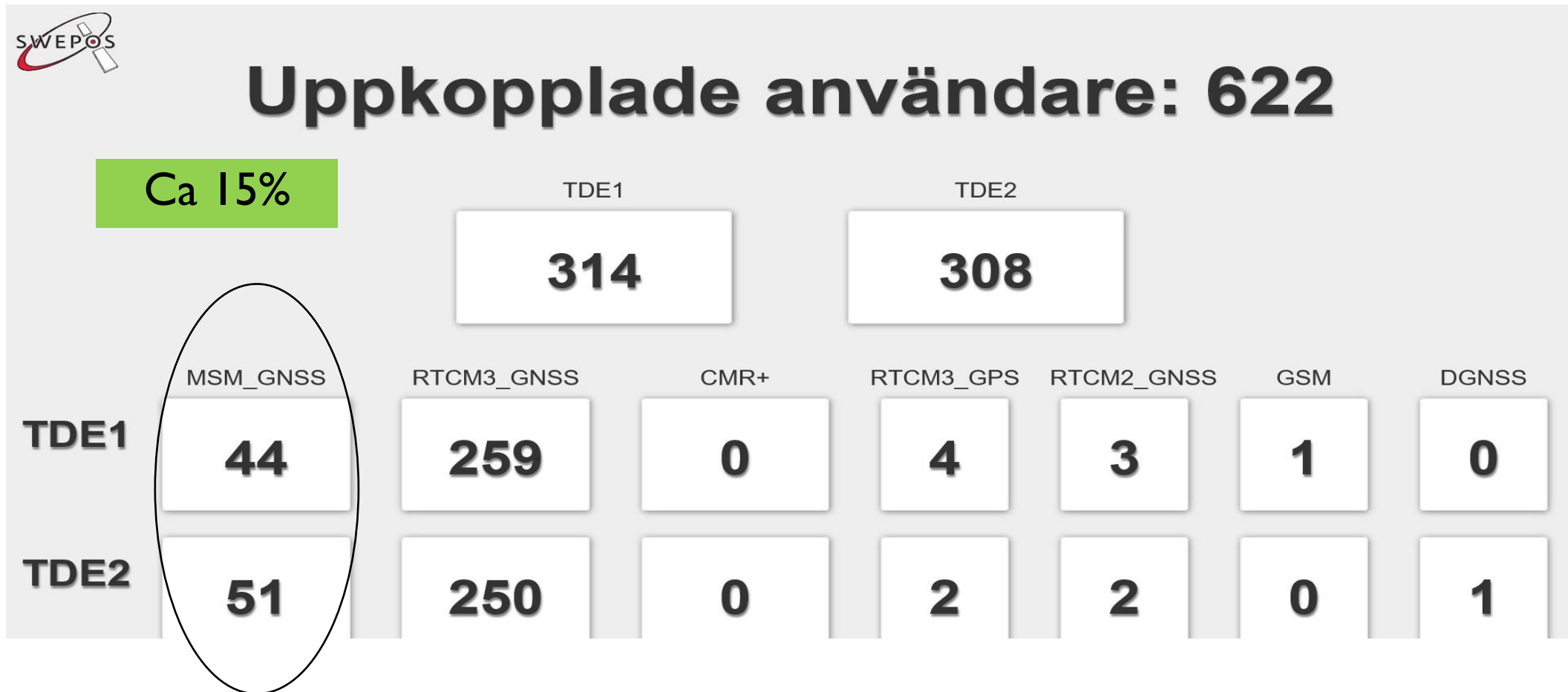
SWEPOS NÄTVERKS-RTK



- 2004: Lanserades som tjänst – GPS
- 2006: GPS+Glonass
- 2018: GPS+Glonass+Galileo
 - Testmätningar och examensarbeten runt denna tid
- 2021: GPS+Glonass+Galileo+Beidou
 - Testmätningar pågår



SWEPOS NÄTVERKS-RTK – ANVÄNDNING AV GALILEO, JANUARI 2019 (1 ÅR EFTER TJÄNSTEN SLÄPPTS)



SWEPOS NÄTVERKS-RTK – 2021-04-16 (DRYGT 3 ÅR SENARE)



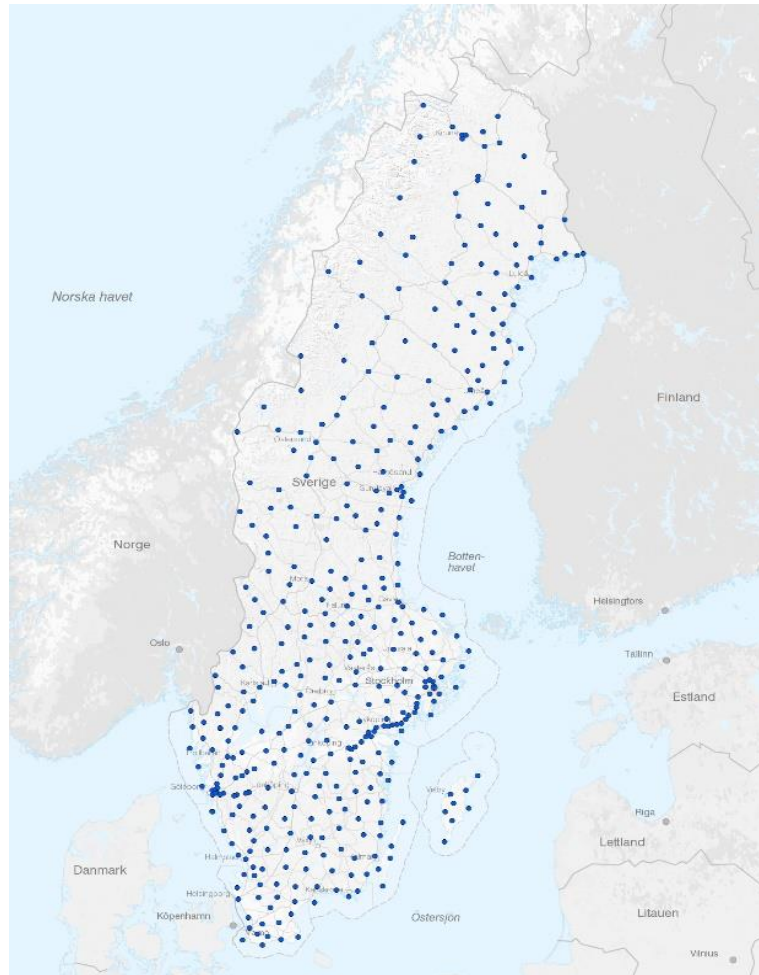
Ca 35%

Uppkopplade användare: 1597



	TPP1	TPP2	TPP21	TPP22						
	493	472	312	320						
	MSM_GNSS	RTCM3_GNSS	RTCM3_GPS	RTCM2_GNSS	CMR+	DGNSS	Öppna data			
TPP1	189	295	1	0	0	1	4			
TPP2	118	336	5	0	2	1				
TPP21	127	179	0	3	0	2				
TPP22	140	173	3	1	1	0				

TESTMÄTNINGAR, NÄTVERKS-RTK OCH ENKELSTATIONS-RTK



- **Rover:** Flera fabrikat
- **Strategi:** Nedkoppling från mobilt Internet mellan varje mätning
- **Medelvärde:** Varje mätning ett medeltal av 10 positioner
- **Fixlösning:** Om lösning av periodobekanta inte erhöles inom 2 (3) minuter, så betraktades mätningen som ej lyckad
- **Kontinuerligmätning:** 2-4 h (ibland längre) RTK/Nätverks-RTK, 1 sekundsdata
- **Elevationsgräns:** 10-15 grader, även upp mot 35 grader

April 2016, GPS + Galileo (7)

ENKELSTATIONS-RTK, STOCKHOLM, AVSTÅND 1,2 KM, ÖPPEN MILJÖ, EXAMENSARBETE, ANNA BERGGREN, STOCKHOLMS UNIVERSITET



GPS + Galileo	Mätningar (antal)	Lyckade fixlösningar (%)	Medelvärde av tid till fixlösning (s)	Standard-osäkerhet, horisontellt (mm)	Standard-osäkerhet, vertikalt (mm)	Medelvärde av PDOP (-)
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	41	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

Nov2016 - jan2017, GPS + Galileo (II)

NÄTVERKS-RTK, GÄVLE, ÖPPEN MILJÖ, LANTMÄTERIETS EGNA TESTER



GPS + Galileo	Mätningar (antal)	Lyckade fixlösningar (%)	Medelvärde av tid till fixlösning (s)	Standard- osäkerhet, horisontellt (mm)	Standard- osäkerhet, vertikalt (mm)	Medelvärde av PDOP (-)
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

April - maj 2017, GPS + Glonass + Galileo (II)

NÄTVERKS-RTK, GÄVLE, 5 PUNKTER, STADSMILJÖ, EXAMENSARBETE, STEFAN JOHANSSON & PETTER TYSK, HIG

GPS+Glonass G+G (vinkel)	Satelliter medel (antal)	Lyckade fixlösningar (%)	Medelvärde av tid till fixlösning (s)	Standard- osäkerhet, horisontellt (mm)	Standard- osäkerhet, vertikalt (mm)	Medelvärde av PDOP (-)
15°	5+6	100	12	7	20	2,7
25°	6+5	95	11	18	25	2,6
35°	4+3	60	42	15	23	3,9

GPS+Glo+Gal G+G+G (vinkel)	Satelliter medel (antal)	Lyckade fixlösningar (%)	Medelvärde av tid till fixlösning (s)	Standard- osäkerhet, horisontellt (mm)	Standard- osäkerhet, vertikalt (mm)	Medelvärde av PDOP (-)
15°	5+6+2	100	12	10	21	2,4
25°	6+5+2	100	13	11	14	2,4
35°	4+3+2	91	14	9	26	4,7

Oktober 2018, GPS + Glonass vs GPS + Glonass + Galileo, 17 st aktiva Galileo

NÄTVERKS-RTK, RÖRBERG, KONTINUERLIG MÄTNING MED EN OBSERVATION/SEKUND, SKOGSMILJÖ, LANTMÄTERIETS EGNA TESTER, (16 KM)

GPS+Glonass G+G	Satelliter medel	Lyckade fixlösningar	Standard- osäkerhet, horisontellt	Standard- osäkerhet, vertikalt	Medelvärde av PDOP
(vinkel)	(antal)	(%)	(mm)	(mm)	(-)
13°	9+6	97	17	21	1,5
25°	7+4	97	26	38	2,4

GPS+Glo+Gal G+G+G	Satelliter medel	Lyckade fixlösningar	Standard- osäkerhet, horisontellt	Standard- osäkerhet, vertikalt	Medelvärde av PDOP
(vinkel)	(antal)	(%)	(mm)	(mm)	(-)
13°	9+5+3	97	22	30	1,5
25°	7+4+3	99,9	23	28	2,1

Outliers, gräns 100 mm

MONITORSTATION I ÖREBRO – MITT I 35-KM-NÄTET

- Två identiska mottagare (Sepentrio PolaRx5) kontinuerligt inkopplade för parallell mätning som rover
- Kopplar upp sig mot nätverks-RTK-tjänsten
 - Ominitialisering efter en och halv minut med fixlösning
- Varierad elevationsgräns för att simulera besvärlig miljö
 - 13, 25 och 35 grader
- Varierad SWEPOS-anslutningspunkt
 - GPS+Glonass+Galileo (GGG) MSM_GNSS
 - GPS+Glonass (GG) RTCM3_GNSS



RESULTAT – MARS 2019

	Antal mätningar	Antal ej fix	% fix	Antal outliers	Antal satelliter	HDOP
GGG25	391058	17	100,00	6	13,85	0,94
GGG13	391228	17	100,00	6	20,22	0,64
	Antal mätningar	Antal ej fix	% fix	Antal outliers	Antal satelliter	HDOP
GGG35	172800	2889	98,33	261	11,00	1,56
GGG13	172800	45	99,97	0	20,31	0,64
	Antal mätningar	Antal ej fix	% fix	Antal outliers	Antal satelliter	HDOP
GGG35	259200	11118	95,71	16	9,91	1,61
GG35	259097	34300	86,76	50	7,36	2,10

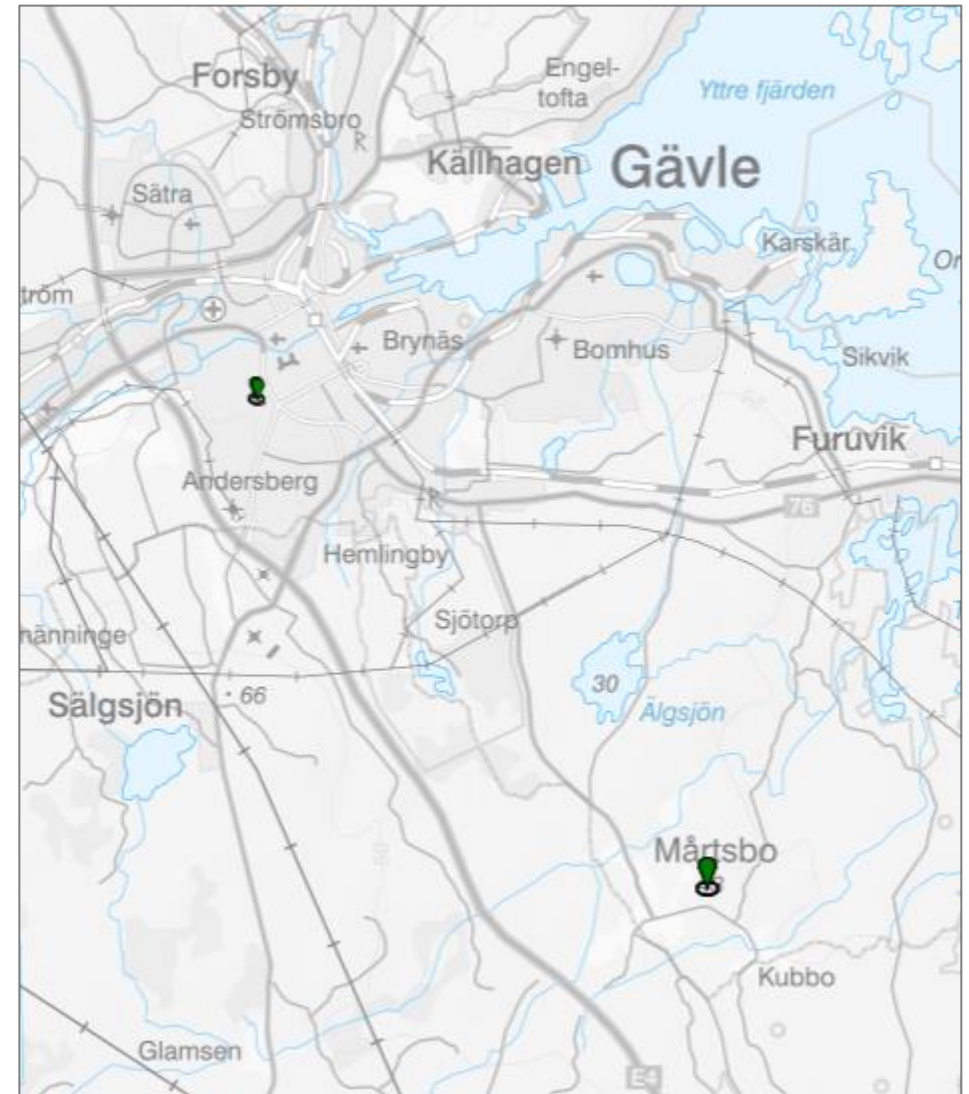
SUMMERING TESTER GALILEO T.O.M. MARS 2019



- Testmätningarna visar ingen större skillnad i positionsosäkerhet beroende på om Galileosatelliter adderas tillsammans med GPS- och Glonassatelliter eller inte
- Tillgängligheten blir likvärdiga om Galileosatelliter adderas på lägre elevationsvinklar (antal fixlösningar)
- Indikerar på något fler- och kortare tid till fixlösning på 25 – 35 graders vinkel i tuffare miljö när Galileo adderas

BEIDOU-TESTER 2020

- Enkelstations-RTK 2020
 - Referensstation Mårtsbo, ca 10 km söder om Gävle
 - Lantmäteriets antenntestfält, öppen miljö
 - Skogsmiljö utanför Lantmäteriet
 - Skogsmiljö närmare Mårtsbo
 - Beidou fullt utbyggt 24 globala satelliter under 2020



ANTENNTESTFÄLTET (LM TAK) SOMMAREN 2020, ENKELSTATIONS-RTK

- Störningsfri miljö, ca 10 km baslinje
- GPS vs, GPS+Beidou med samma inställningar i övrigt
- Statisk RTK i ca 4 h, 1 sekundsdata
- Mätserier med 20 mätningar med 5 epoker, ominitialisering mellan varje mätning



ANTENNTTESTFÄLTET SOMMAREN 2020

2020-06-23 20 grader	Antal mätningar	u (plan)	u (höjd)	PDOP (medel)
GPS	14372	0,013	0,019	3,2
GPS+BeiDou	14373	0,013	0,017	2,8

2020-06-25 20 grader	Antal mätningar	u (plan)	u (höjd)	PDOP (medel)
GPS	14401	0,010	0,016	3,1
GPS+BeiDou	14394	0,008	0,015	2,4

2020-07-08 25 grader	Antal mätningar	u (plan)	u (höjd)	PDOP (medel)
GPS	14704	0,014	0,022	4,0
GPS+BeiDou	14712	0,012	0,015	2,2

- u = standardosäkerhet, 68 % konfidensnivå, Spridning runt medelvärdet
- $u(\text{plan}) = \sqrt{u(N)^2 + u(E)^2}$
- Outliers är borttagna
 - Mätningar som avviker $>3*u$ i någon koordinatkomponent (N,E,H) vid ungefärligt normalfördelade data

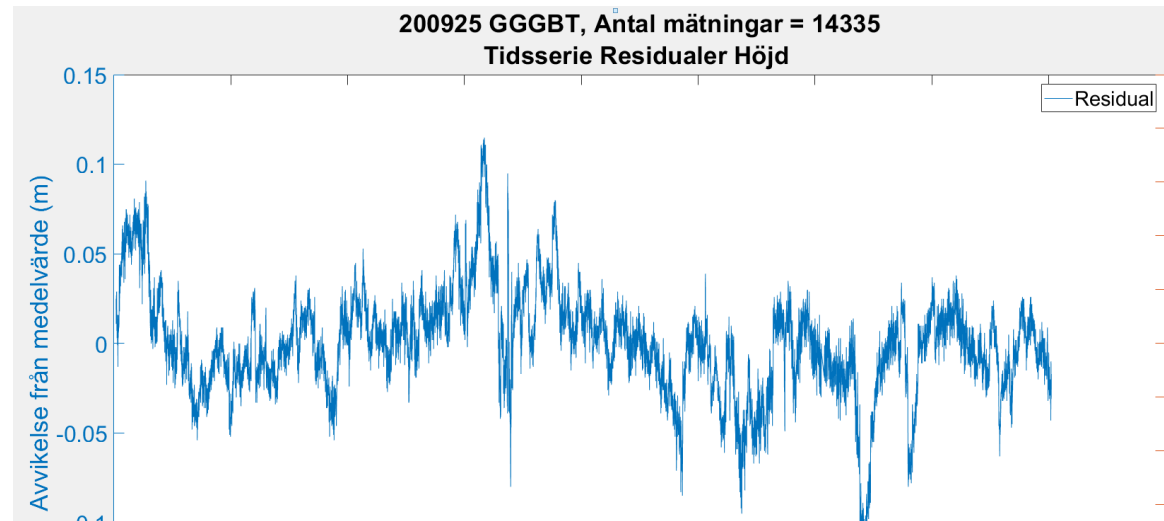
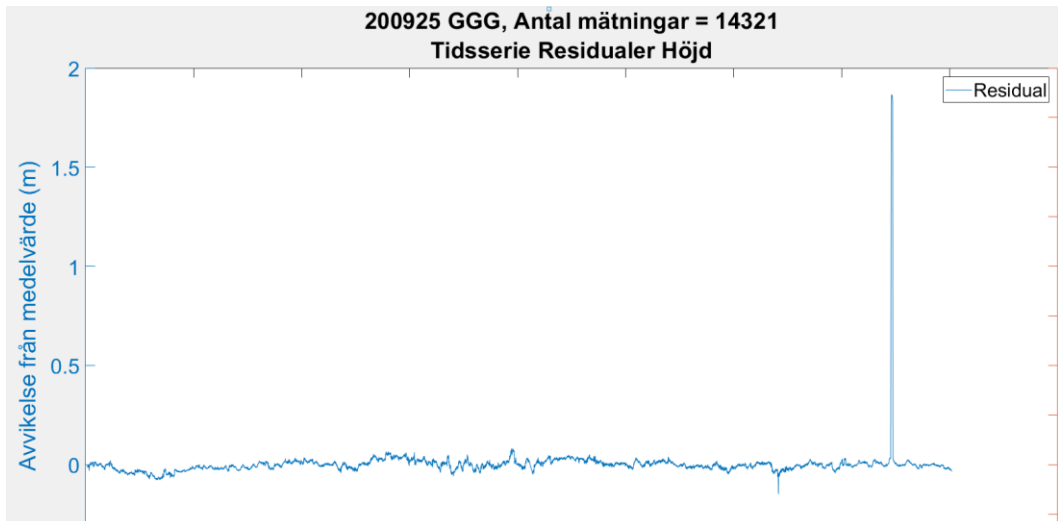
Enskilda mätningar	Antal mätningar	Antal satelliter	u (plan)	u (höjd)	PDOP (medel)	Tid till fix (medel)
GPS	400	6,5	0,012	0,025	2,9	8,0
GPS+BeiDou	400	11,3	0,011	0,022	2,1	6,6

SKOGSMILJÖ SEPTEMBER 2020

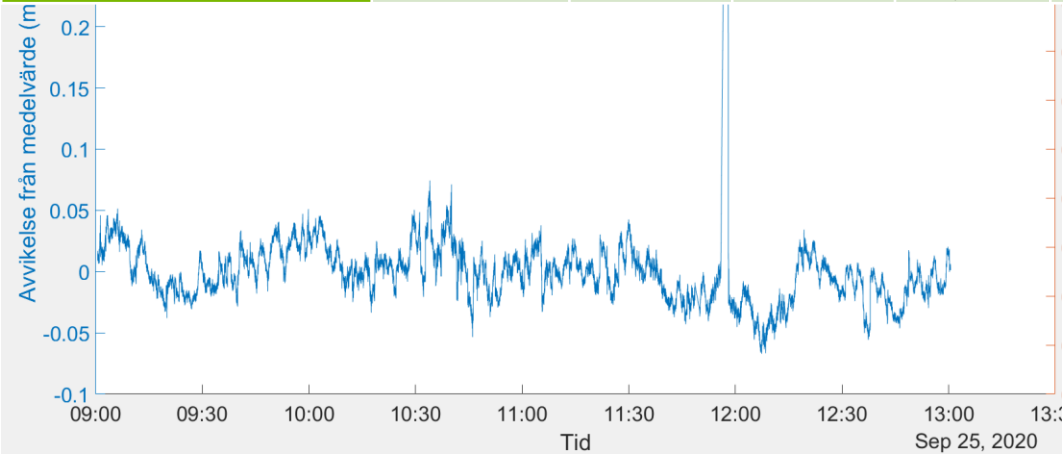
- Svårare mätmiljö, tallskog
- 2 platser, ca 10 km och ca 6 km baslinje
- GGG vs, GGGB med samma inställningar i övrigt
- GGGB med en mottagare av annat fabrikat
- Ca 4 h statisk RTK-mätning, 1 sekundsdata



SKOGSMILJÖ 6 KM BASLINJE

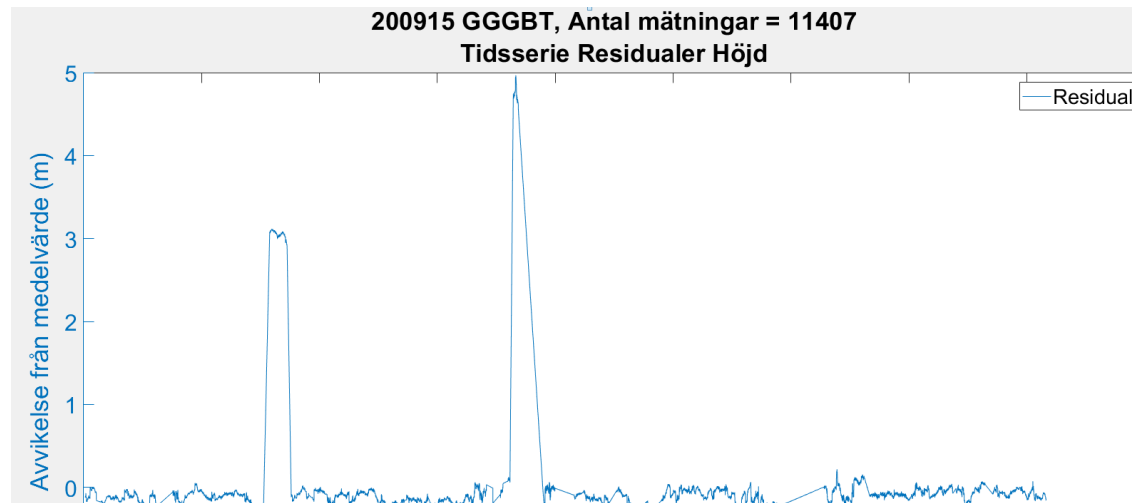
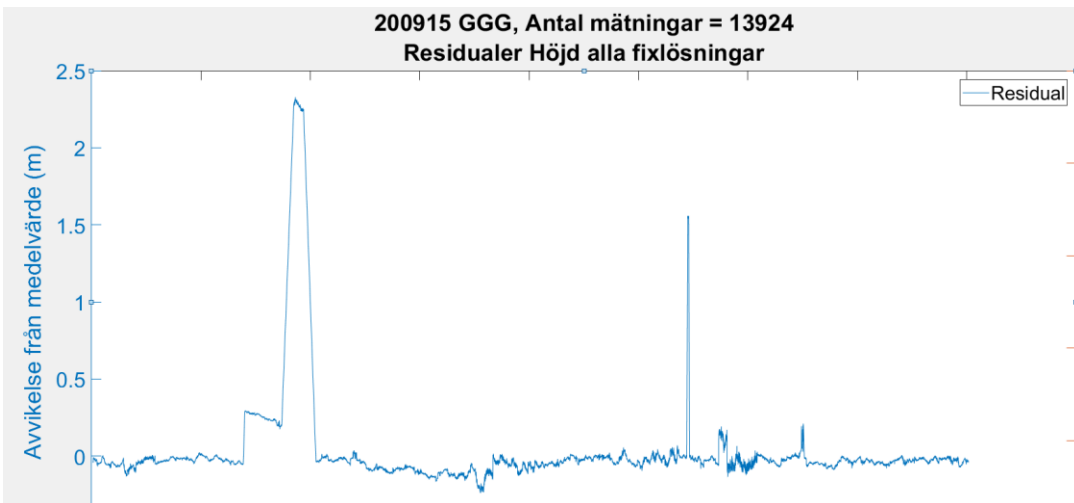


2020-09-25, 6 km baslinje	Antal mätningar	Antal ej fix	Antal Outliers	u (plan)	u (höjd)	PDOP (medel)	GPS	Glonass	Galileo	BeiDou	Antal satelliter
GGG	14401	80	20	0,014	0,022	1,6	7,2	5,0	4,6		16,8
GGGB	14401	92	92	0,013	0,021	1,5	7,1	4,5	4,6	6,3	22,5
GGGBT	14410	75	441	0,016	0,026	1,6	7,2	4,5	3,6	5,7	21,0

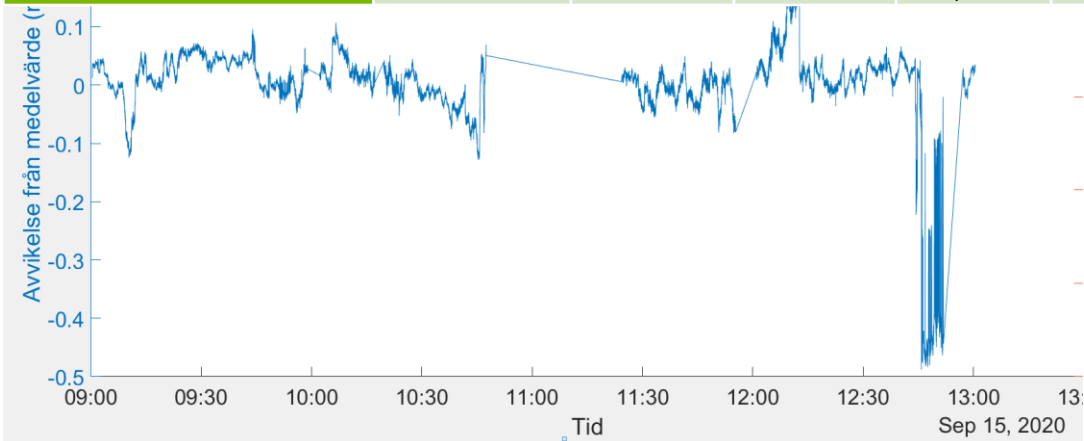


13:00
2020

SKOGSMILJÖ 10 KM BASLINJE



2020-09-15, 10 km baslinje	Antal mätningar	Antal ej fix	Antal Outliers	u (plan)	u (höjd)	PDOP (medel)	GPS	Glonass	Galileo	BeiDou	Antal satelliter
GGG	14408	484	1598	0,019	0,036	2,3	6,0	4,2	4,2		14,5
GGGB	14408	3224	826	0,026	0,033	2,4	5,2	2,7	3,7	4,2	15,8
GGGBT	14550	3143	670	0,047	0,073	2,2	6,3	3,8	3,2	3,9	17,1



SLUTSATSER FRÅN TESTERNA 2020 – ENKELSTATIONS-RTK

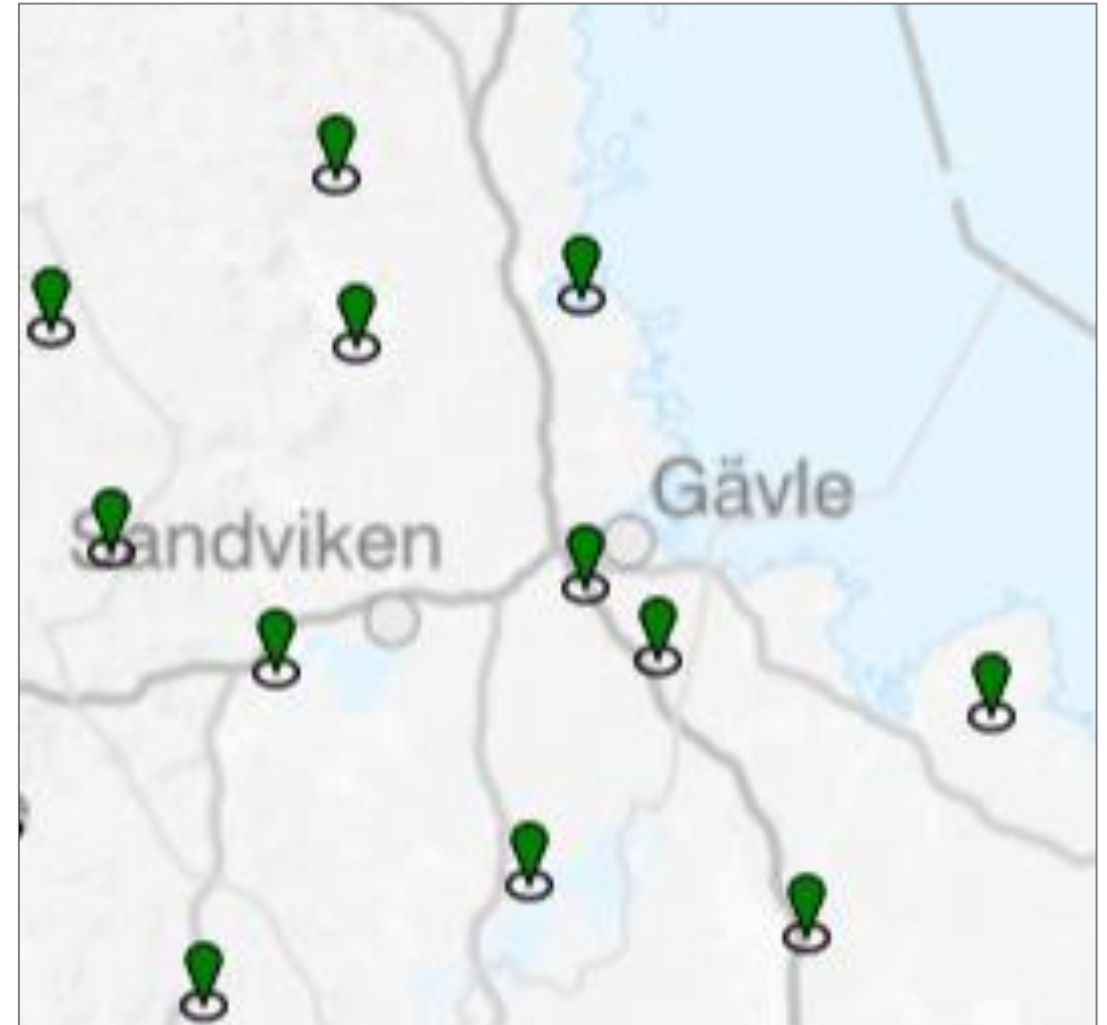
- Vi kan mäta med Beidou
- Generellt något kortare tid till fixlösning med Beidou
- Ev. något lägre standardosäkerhet med Beidou
- Inte fler fixlösningar med Beidou
- Kanske färre stora felaktiga fixlösningar?

- Fler tester behövs!



BEIDOU-TESTER 2021

- Nätverks-RTK 2021
 - Nätverksprogramvara med vissa begränsningar, (saknar just nu stöd för alla stationsmottagare)
- Mindre testnät med referensstationer kring Gävle



INLEDANDE NÄTVERKS-RTK TESTER 2021 MED BEIDOU



- Lantmäteriets antenntestfält, öppen miljö
- Flera fabriker
- Funktionstest rover och nätverksprogramvaran TPP
- Få beräkning gjorda "tid till fix", standardosäkerhet m.m.
- Går att få fix med bara Beidou 😊

FRAMTIDA TESTER



- Fler mätningar och ett större underlag med Beidou i Nätverks-RTK
- Olika kombinationer av de 4 GNSS-systemen?
- Mätningar i svårare miljöer
- Exjobb?

- Mål att få med Beidou med i Swepos Nätverks-RTK under 2021
- Ev. egen anslutningspunkt för korrektioner där även Beidou ingår
- Pågår utbyte av äldre stationsmottagare

FRÅGOR?



Tack för uppmärksamheten!

Användning och tester av Galileo och
Beidou för nätverks-RTK

Stefan Öberg
stefan.oberg@lm.se

KARTDAGARNA 2021, Digitalt, 20-21 april 2021